

**VŠB - Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Vliv malých zdrojů na distribuční síť**  
**Small Power Sources Effects in Distribution Network**

### **Prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 5. 5. 2011

Podpis studenta

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Jiřímu Gureckému, jenž mi poskytl cenné rady a připomínky při řešení mých úkolů. Dále bych také chtěl poděkovat panu doc. Ing. Stanislavu Mišákovi, Ph.D. a Ing. Prokopu Lukášovi, Ph.D. za poskytnutí dat, jež byly zpracovávány v této diplomové práci.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá problematikou obnovitelných zdrojů energie, zejména studií negativních vlivů, jimiž je postižena distribuční síť, do které jsou tyto výrobní elektrické energie z obnovitelných zdrojů připojeny. Cílem této práce je také vyhodnocení zpětných vlivů větrné elektrárny na distribuční síť.

## **Klíčová slova**

Elektrická energie, distribuční síť, kvalita elektrické energie, obnovitelné zdroje, podmínky připojitelnosti, větrná elektrárna, zdroje elektrické energie, zpětné vlivy.

## **Abstract**

The thesis deals with renewable energy sources, in particular, studies of negative influences, which affected the distribution network to which they are connected to the plant. This work also re-evaluate the effects of wind on the distribution network.

## **Keywords**

Electric power, distribution network, power quality, renewable, terms of connectivity, wind power, power supply, reverse effects.

## Seznam použitých symbolů a zkratek

AC	Střídavý
AG	Asynchronní generátor
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
$\cos \varphi$	Účinník
ČR	Česká republika
ČSN	České technické normy
DC	Stejnoseměrný
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
f	Frekvence, jednotka Hz
HDO	Hromadné dálkové ovládání
I	Proud, jednotka A
IT	Izolovaná síť
NN	Nízké napětí
Obr.	Obrázek
OZE	Obnovitelné zdroje energie
P	Činný výkon, jednotka W
Q	Jalový výkon, jednotka var
S	Zdánlivý výkon, jednotka VA
t	Čas
Tab.	Tabulka
THD	Činitel celkového harmonického zkreslení
TN	Přímo uzemněná síť
TT	Nepřímo uzemněná síť
U	Napětí, jednotka V
$U_N$	Jmenovité napětí, jednotka V
VE	Vodní elektrárna
VN	Vysoké napětí
VTE	Větrné elektrárna
$\Delta f$	Změna frekvence, jednotka Hz
$\Delta U$	Změna napětí, jednotka V

Další použité značky jsou popsány přímo v textu.

## Obsah

1	Úvod .....	- 1 -
2	Teoretický rozbor sítí NN a VN .....	- 2 -
2.1	Požadavky kladené na elektrické sítě .....	- 2 -
2.2	Prvky distribuční sítě .....	- 2 -
2.3	Dělení sítí .....	- 4 -
2.3.1	Podle hladiny napětí .....	- 4 -
2.3.2	Podle spojení uzlu se zemí .....	- 4 -
2.3.3	Podle zásobované oblasti .....	- 4 -
2.3.4	Podle zapojení sítě .....	- 4 -
3	Obnovitelné zdroje v distribuční síti .....	- 7 -
3.1	Využití vodní energie .....	- 9 -
3.2	Využití větrné energie .....	- 12 -
3.3	Využití energie slunce .....	- 14 -
3.4	Využití energie biomasy .....	- 17 -
3.5	Využití energie tuhých komunálních odpadů .....	- 20 -
3.6	Využití energie zemského pláště .....	- 22 -
4	Zpětné vlivy na distribuční síť .....	- 24 -
4.1	Kvalita elektrické energie z pohledu ČSN EN 50160 .....	- 24 -
4.2	Zpětné vlivy na napájecí síť .....	- 26 -
4.2.1	Změna napětí .....	- 26 -
4.2.2	Flikr .....	- 26 -
4.2.3	Harmonické proudy .....	- 28 -
4.2.4	Ovlivnění zařízení HDO .....	- 32 -
5	Limity připojitelnosti .....	- 34 -
5.1	Pravidla pro paralelní provoz zdrojů s distribuční soustavou .....	- 34 -
6	Vliv větrné elektrárny na distribuční síť .....	- 41 -
6.1	Větrná elektrárna Veselí u Oder .....	- 41 -
6.1.1	Vestats V90 .....	- 41 -
6.2	Zpětné vlivy VTE .....	- 43 -
6.3	Analýza naměřených dat .....	- 45 -
7	Závěr .....	- 55 -

# 1 Úvod

Již delší dobu je celosvětovým tématem globální oteplování a z tohoto důvodu je snaha vyvíjet tlak na všechna odvětví, aby v rámci možností byly eliminovány negativní dopady na přírodu. Také Česká republika se zavázala ke splnění požadavků Evropské unie, a to k dosažení určitého podílu obnovitelných zdrojů na výrobě elektrické energie, čímž by měly být sníženy negativní dopady na životní prostředí způsobené výrobou elektrické energie z neobnovitelných zdrojů.

Systémy obnovitelných zdrojů obvykle nedosahují velkých instalovaných výkonů, což vede k velkému počtu a decentralizaci. Jejich okamžitý výkon závisí obvykle na meteorologických podmínkách, jenž jsou spojeny se zeměpisnou polohou daného zdroje. Tím, že náš stát nemá přímý přístup k moři, nelze v našich podmínkách využít plné škály potenciálu, jenž nabízí příroda. I přes tyto nevýhody se snaží náš stát, někdy až moc dychtivě, docílit požadavků, k nimž se zavázal.

Mezi hlavní výhody obnovitelných zdrojů elektrické energie patří, že při výrobě nevytvářejí emisní látky, jež by mohly škodit životnímu prostředí. Ovšem jejich negativem je potřeba záložního zdroje, když nastane pokles výroby elektrické energie v OZE. V případě velkého odběru a malé dodávky elektrické elektřiny, by mohlo dojít k překročení meze stability, a tím rozpadu elektrizační soustavy.

Elektrizační soustava v České republice je tvořena velkými zdroji elektrické energie, přenosovou soustavou, jež slouží k přenosu elektřiny na velké vzdálenosti, distribuční soustavou a odběrateli. Všechna tato zařízení tvoří jeden úzce provázaný systém. Je potřeba tuto strukturu stále zdokonalovat, neustále vyvíjet a dohlížet na její správný chod.

Geografická poloha a začlenění energetických systémů České republiky v Evropské unii z nás činí nepostradatelný uzel ve střední Evropě. Což nám dává značné možnosti obchodování se sousedními státy. I z tohoto důvodu je potřeba být neustále konkurenceschopní jak v kvantitativní, tak i kvalitativní stránce výroby, transformaci a přenosu elektrické energie.



## 2 Teoretický rozbor sítí NN a VN

Distribuční sítě zajišťují veškeré činnosti související s dodávkou elektrické energie ke koncovým zákazníkům. Jde o systém zařízení sloužící přeměně parametrů elektřiny, zajištění dodávky a také zjištění a včasného zareagování na poruchové stavy. Nejčastěji je DS napájena z přenosové soustavy, nebo z menších energetických zdrojů. V České republice je distribuční síť provozována převážně na hladinách napětí VN a NN, mimořádně VVN. Na velikosti jmenovitého napětí závisí další vlastnosti prvků distribuční sítě.

### 2.1 Požadavky kladené na elektrické sítě

Každý konkrétní odběr má své vlastní specifické požadavky, ale základní požadavky kladené na elektrické sítě se dají shrnout do těchto několika bodů:

- bezpečný provoz,
- provozní spolehlivost,
- přehlednost,
- možnost rychlého odstranění poruch,
- hospodárnost provozu,
- možnost rozšiřování elektrických obvodů.

### 2.2 Prvky distribuční sítě

Distribuční síť se skládá ze samotného vedení, venkovního nebo kabelového, a stanic, jež zajišťují přeměnu elektrické energie. V ČR je provozována střídavá síť s frekvencí 50 Hz, dle hladiny napětí je dále síť uzemněná, izolovaná, popřípadě uzemněná přes velkou impedanci či kompenzační prvky.

#### Vedení

Jak již bylo výše uvedeno, můžeme vedení rozdělit na venkovní a kabelové. Venkovní vedení se obvykle používá při přenosu energie na větší vzdálenosti. Nejčastěji, z ekonomických důvodů, se jako vodič používá hliníkové lano s ocelovou duší, tzv. AlFe lana.

Využití kabelových sítí je nejčastější v městských aglomeracích. Nevýhodou těchto vedení je ztížený přístup v případě poruchy. V dnešní době výrobci kabelů nabízejí široký sortiment, jenž využívá velkého spektra materiálů.

## **Elektrické stanice**

Jedná se o ucelená zařízení umístěna v uzlu elektrizační soustavy. Zajišťují přeměnu parametrů elektrické energie, bezpečný a optimální chod sítě. Velikost el. stanice závisí na začlenění do elektrizační sítě, jmenovitém napětí, počtu systému přípojníc, instalovaném výkonu transformátorů a dalších aspektech.

Dle využití lze elektrické stanice rozdělit na:

- transformovny,
- měnícíny,
- kompenzovny,
- spínací stanice.

## **Ochrany a automatiky**

Tato zařízení slouží ke kontrole chodu určité části elektrizační soustavy. Informace o stavu chráněného objektu získávají pomocí přístrojových transformátorů proudu a napětí, popřípadě jiných vhodných čidel.

Základní požadavky na ochranný systém:

- rychlost,
- spolehlivost,
- selektivita,
- citlivost.

Ochrany lze rozdělit podle mnoha aspektů, např. dle konstrukce, časové závislosti, funkčního principu, atd. Obecně lze říct, že většinu elektrických zařízení je vhodné jistit určitými ochranami, ovšem některé ochrany nejsou vhodné pro spolupráci s veškerým zařízením.

Dalším prvkem, jenž slouží pro zajištění bezpečného a spolehlivého chodu, jsou automatiky. V podstatě se jedná o zařízení, jenž při určitém stavu soustavy samočinně provedou kroky k zajištění dodávky elektrické energie. Mezi tyto systémy lze zařadit systém opětovného zapnutí.

## 2.3 Dělení sítí

Sítě lze dělit podle mnoha parametrů. Jedním z nejjednodušších je dělení na přenosové a distribuční sítě. Každá z těchto dvou má své určité vlastnosti, kdy se některé z nich dokonce vyskytují v obou případech. V následujících odstavcích budou spíše popisovány distribuční sítě. Síť dále můžeme dělit:

### 2.3.1 Podle hladiny napětí

V distribučních sítích se využívají především tyto hladiny napětí:

- nízké napětí (NN) – nad 50 V do 1 kV včetně,
- vysoké napětí (VN) – nad 1 kV do 52 kV včetně,
- velmi vysoké napětí (VVN)- nad 52 kV do 300 kV (v DS využití hladiny 110 kV).

### 2.3.2 Podle spojení uzlu se zemí

Dalším možným dělením je spojení uzlu sítě se zemí. Podle tohoto předpokladu dělíme síť na:

- síť s izolovaným uzlem (TT),
- síť s přímo uzemněným uzlem (TN),
- síť s nepřímo uzemněným uzlem (IT).

### 2.3.3 Podle zásobované oblasti

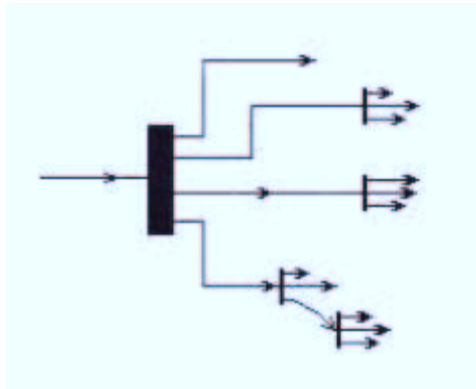
Důležitým hlediskem pro určení parametrů části distribuční sítě je zásobovaná oblast, jež lze rozdělit dle velikosti odebírané elektrické energie na:

- soustředěné odběry - velkoodběry (průmyslové závody),
- velké aglomerace - města, sídliště,
- rozptýlené odběry - malá města, obce.

### 2.3.4 Podle zapojení sítě

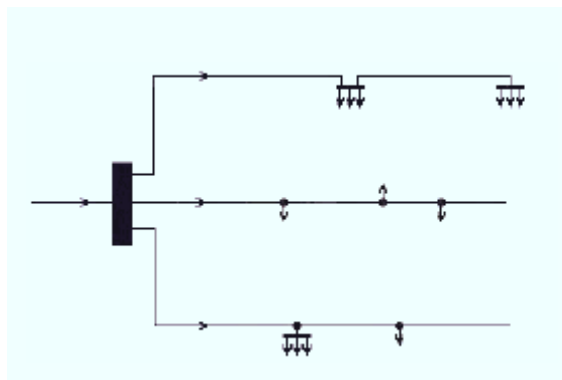
Téměř každá síť má několik možností zapojení (propojení), jenž mají za následek zlepšení požadovaných vlastností, čímž ovšem dojde ke zhoršení ostatních vlastností. Z tohoto důvodu je důležité vybrat správnou topologii dané sítě. Mezi základní zapojení patří (další druhy lze získat kombinací nebo zdvojením těchto druhů):

Paprsková síť – je velmi jednoduchá, snadno se udržuje, u tohoto typu není zajištěno rezervní napájení, výpadek kteréhokoliv prvku sítě má za následek odpojení jednoho nebo více odběrných míst, ale i celé sítě.



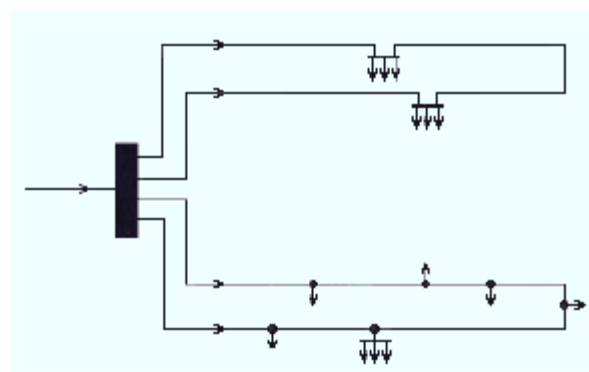
**Obr. 1 Paprsková síť**

Průběžná síť - jedná se o přehlednou síť, ale je zde potřeba větších průřezů vodičů z napájecí rozvodny.



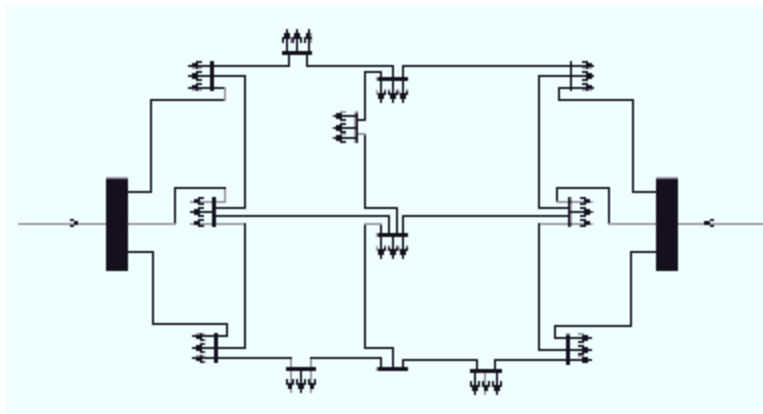
**Obr. 2 Průběžná síť**

Okružní síť - u této sítě je každé odběrné místo napájeno ze dvou stran, to má za následek zvýšení spolehlivosti.



**Obr. 3 Okružní síť**

Mřížová síť - vyžaduje nejméně dva napáječe. Tento typ sítě je nejnáročnější jak z hlediska návrhu tak i údržby. Jednotlivá vedení se stýkají v uzlech, jenž tvoří pojistkové skříně, nebo rozvodnice. V případě poruchy je odpojeno příslušné vedení a uzel je nadále napájen z ostatních přivedených větví.



Obr. 4 Mřížová síť

### 3 Obnovitelné zdroje v distribuční síti

Česká legislativa dle požadavků EU vytvořila zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů (zákon č. 180/2005 Sb.), jehož cíle lze shrnout do následujících bodů:

- zvýšit podíl výroby elektřiny v obnovitelných zdrojích elektrické energie na hrubé spotřebě elektřiny v takovém rozsahu, aby ČR splnila indikativní cíl ve výši 8 % v roce 2010,
- snížit emisi skleníkových plynů,
- snížit emise ostatních škodlivin do prostředí,
- přispět ke snížení závislosti na dovozu energetických surovin ze zahraničí,
- zvýšit diverzifikace a decentralizace zdrojů energie, a tím zvýšit bezpečnost dodávky energie,
- přispět ke zvýšení podnikatelské jistoty investic do obnovitelných zdrojů energie,
- podpořit vytvoření institucionálních podmínek pro zavádění nových technologií a k jejich proniknutí na trh jak v tuzemsku tak i v zahraničí,
- využíváním biomasy přispět k péči o krajinu.

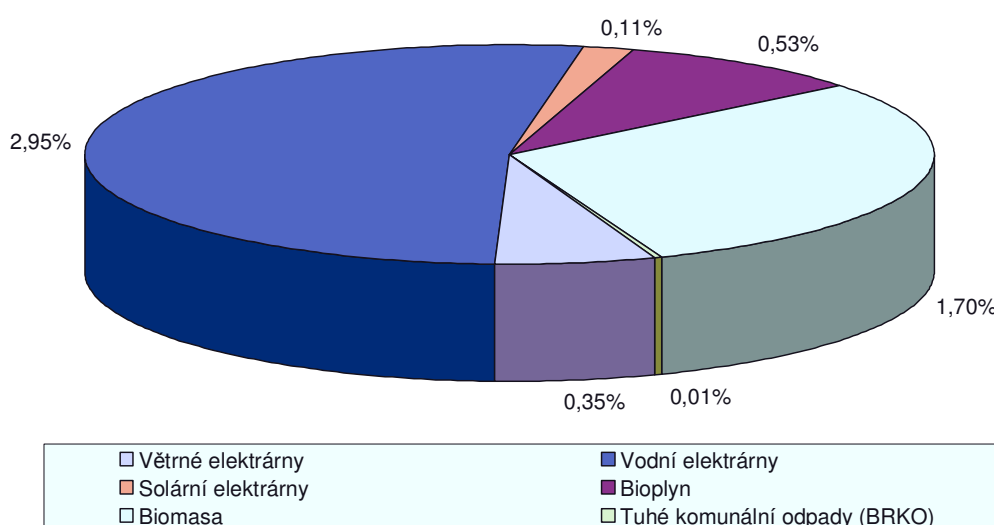
V ČR se v průměru vyrobí 83 300 GWh (hrubá výroba) elektrické energie, přičemž průměrná roční hrubá spotřeba elektřiny se pohybuje kolem 70 000 GWh. Každým rokem procentuální podíl vyrobené elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé domácí spotřebě roste.



Obr. 5 Vývoj podílu výroby elektřiny z OZE na hrubé domácí spotřebě

K obnovitelným zdrojům energie se v podmínkách ČR řadí využití energie vody, větru, slunečního záření, biomasy a bioplynu, energie prostředí využívaná tepelnými čerpadly, geotermální energie a energie kapalných biopaliv. Každý z těchto zdrojů energie má své klady a zápory, ne všechny lze využít na všech místech České republiky.

[9]



**Obr. 6 Podíl jednotlivých OZE na výrobě elektřiny v ČR v roce 2009**

[17]

Obnovitelné zdroje energie ve srovnání s klasickými zdroji, jak již bylo zmíněno, mají i nevýhody. Energie, kterou zachytávají, má obvykle malou plošnou, nebo objemovou hustotu, a proto zařízení se srovnatelným výkonem jako klasické zdroje je větší, náročnější na technologie a také s ohledem na prvotní náklady znatelně dražší. Dalším značným nedostatkem je časová proměnlivost množství dodávané energie v závislosti na přírodních podmínkách. Kvůli ekonomické efektivnosti a konkurenceschopnosti s klasickými zdroji z pohledu ceny energie dodávané z OZE jsou zatím hlavními překážkami v masovějším využití.

[12]

### 3.1 Využití vodní energie

I přes to, že využití vodní energie má již dlouhou historii, měl vývoj jejího využití poměrně nerovnoměrný a dlouhý průběh. V dnešní době je vodní energie nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem, zejména z důvodů vhodných parametrů pro regulaci elektrické soustavy. Nevýhodou této energie je potřeba dostatečného vodního toku, popřípadě vodního díla, jež svými vlastnostmi umožní převádět mechanickou energii vody na elektrickou.

Momentální hodnota instalovaného výkonu vodních elektráren v ČR činí přes 1 GW a představuje 8 % celkového instalovaného výkonu pro výrobu elektřiny. Na hrubé výrobě elektřiny se v roce 2009 podílela 2,95 %, což činí podíl na výrobě zelené elektřiny více než 52 %. Převážná část hydropotenciálu naší vlasti je již delší dobu využívána spíše k regulaci elektrizační soustavy. Nevýhodou tohoto zdroje je závislost na hydrologických podmínkách v hodnoceném období, což samozřejmě souvisí s umístěním daného zdroje. Vzhledem k vysokému podílu výroby ve vodních elektrárnách na elektřině z OZE bude tato závislost nutně vytvářet výkyvy v celkovém objemu vyrobené zelené elektřiny v sušších letech.

[17]

Význam vodních elektráren není pouze ve výrobě elektrické energie, ale také pro regulaci vodních toků a hospodaření s vodou. Mezi další vlastnosti patří možnost akumulace energie, k níž dochází v přečerpávacích VE.

[8]

Přečerpávací vodní elektrárny jsou v dnešní době největší akumulací nástrojem na delší dobu. Energii akumulují v době mimo špičku, kdy je v soustavě přebytek energie, ta je využita k přeměně polohové energie vody. Tato energie je v době špičky opět přeměněna na elektřinu.

Při návrhu a provozu vodní elektrárny se nesmí zapomenout na vliv tohoto zařízení na prostředí, v němž je tento zdroj instalován. Mezi základní požadavky patří odebírání sjednaného množství vody a ponechání tak dostatečný tok v řečišti tak, aby nebyla omezena funkce ekosystému. Značné potíže s ekosystémem by mohl nastat v případě úniku látek na bázi ropných produktů. Důležitou vlastností je také vhodné začlenění VE do lokality, tak aby nedošlo k vážnému narušení krajinného rázu.

[12]

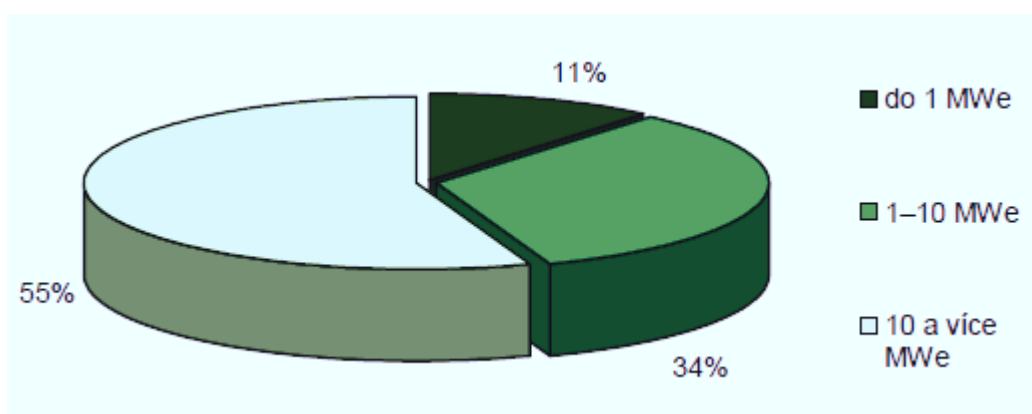


### Dělení vodních elektráren:

Dle instalovaného výkonu:

- od 100 MW velké elektrárny,
- do 100 MW střední elektrárny,
- do 10 MW horní výkonová hranice pro malé vodní elektrárny (MVE),
- do 1 MW MVE veřejné, průmyslové, závodí,
- do 100 kW drobné,
- do 35 kW mikro zdroje (starší),
- do 2 kW mobilní zdroje.

[9]



Obr. 7 Podíl VE na hrubé výrobě elektřiny dle výkonu

[17]

Dle uspořádání VE

- průtočné - umístěny v přímém kontaktu s vodním tokem,
- derivační – umístěny na umělém kanálu,
- akumulární (přehradové),
- přečerpávací – reverzní, nebo třístrojové (čerpadlo, turbína, generátor),
- vyrovnávací.

Dle zapojení

- samostatné – dodávají energii do samostatné, vydělené sítě, pro vlastní využití,
- zapojené – pracující paralelně s veřejnou energetickou sítí.

Dle rozdělení vodních turbín

a) podle přenosu energie vody

- rovnotlaké – akční turbíny
- přetlakové – reakční turbíny

- b) z hlediska polohy hřídele oběžného kola
- horizontální – vodorovné uložení
  - vertikální – svislá osa
  - šikmé – šikmá osa
  - tvaru S – provedení savky do tvaru S

Rozdělení turbín podle nejpoužívanějších vodních strojů

- a) vodní kola – na spodní vodu (do 2 m), na střední vodu (do 5 m), na svrchní vodu (do 10 m)
- b) turbíny rovnotlaké
- turbína Bankyho (od 5 do 30 m)
  - turbína Peltonova (od 30 do 70 m)
- c) turbíny přetlakové
- Kaplanova turbína a její modifikace (od 1,2 do 50 m)
  - Francoisova turbína (od 10 do 70 m)
  - Reifensteinova turbína (od 10 do 30 m)
  - čerpadlová turbína (od 10 m do 100 m)
  - turbína vírová (pro extrémně nízké spády cca 1 až 3 m)

[9]

### **Základní parametry vodních elektráren**

Hltnost  $Q$  – průtok vody, který je turbína schopna při příslušném spádu zpracovat [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Spád  $H$  – výškový rozdíl vodní hladiny před vtokovým objektem a před vypuštěním odpadu [m].

Elektrický výkon  $P$  – součet instalovaných výkonů všech soustrojí elektrárny [kW].

Roční výroba  $E$  – součet vyrobené energie za jeden rok [MWh].

V současné době je v České republice možnost využití velkých vodních elektráren takřka vyčerpána. Navíc výstavba velkých vodních děl je vždy úzce spojena s poměrně zásadními zásahy do životního prostředí, nehledě na značné finanční náklady. V ČR však stále existuje ještě mnoho lokalit, kde je možnost využití malých vodních elektráren.

[12]

## 3.2 Využití větrné energie

Jako další zdroj pro výrobu elektrické energie je vítr. Technologie získávání elektřiny z tohoto přírodního živlu je v ČR poměrně mladá. Větší zájem a rozvoj se projevil na začátku sedmdesátých let minulého století, přičemž kinetická energie větru byla v Evropě využívána již v 10. až 13. století. Větrný motor lze zjednodušeně srovnat s vodním kolem, s rozdílnou hnací silou, kdy v prvním případě je vítr a v druhém voda.

[8]

### Výhody větrných elektráren (VTE):

- moderní VTE o jmenovitém výkonu 2 MW ročně vyrobí v průměru 4 430 MWh, hrubá výroba VTE v ČR v roce 2009 činila 288,1 GWh elektrické energie,
- minimální údržba,
- minimální nároky na zábor zemědělského půdního fondu v poměru na MW instalovaného výkonu,
- podstatná část výroby komponentů pro VTE a činností při jejich výstavbě jsou vykonávány českými firmami a peníze investované do větrné energetiky tak z větší části podporují domácí ekonomiku a pracovní místa,
- mají nízké náklady na likvidaci.

[2]

V dnešní době se vítr používá k výrobě elektrické energie v moderních větrných elektrárnách s vodorovnou osou rotoru založených na vztakovém principu. Z hlediska konstrukce a výkonu lze VTE rozdělit:

- a) malé větrné elektrárny - jedná se o elektrárny s celkovým výkonem menším než 60 kW a průměrem vrtulí do 16 m.
- b) střední větrné elektrárny - jedná se o elektrárny s celkovým výkonem v rozmezí od 60 do 750 kW a průměrem vrtulí od 16 do 45 m.
- c) velké větrné elektrárny - jedná se o elektrárny s celkovým výkonem od 750 do 6400 kW a průměrem vrtulí od 45 do 128 m.

[9]

Malé elektrárny jsou obvykle decentralizované a slouží k zásobování rekreačních objektů, výhodné využití obvykle v místech s absencí elektrické přípojky. Vyrobená energie, ve většině případů, dobíjí akumulátory, z nichž je v době potřeby napájeno zařízení objektů, ty jsou buď konstruovány na stejnosměrné napětí 12 či 24 V, pomocí střídače lze provozovat i spotřebiče se střídavým napětím 230 V.

Velké větrné elektrárny jsou v dnešní době konstruovány na výkony 1 – 3 MW. Tyto výrobny bývají umísťovány na stožáry s výškou 60 až 100 m. Otáčky rotoru jsou regulovatelné s ohledem na nerovnoměrnou zátěží generátoru, dané nerovnoměrnou rychlostí větru. V současné době převládají tyto typy regulace:

- Stall regulace – rotor má pevné listy a regulace je zajištěna odtržením proudnice vzduchu od listu. Po odtržení dojde ke snížení výkonu. Mezi výhody této regulace se řadí nižší cena a vyšší výroba elektřiny při větších rychlostech větru. V současnosti se používá i inovována verze této regulace, kdy jsou listy již pomalu a mírně natáčeny v závislosti na aktuálních klimatických podmínkách.
- Pitch regulace – zde jsou listy již zcela natáčivé dle rychlosti větru tak, aby bylo dosaženo optimálního náběhu větrného proudu. Výhodnou je větší výroba při nižší rychlosti větru. Technologie natáčení listů se ale značně podepíše na ceně zařízení.

[12]

Výkon VTE je závislý jak na meteorologických podmínkách, tak na velikosti a tvaru vrtule, na níž vítr působí. Optimální místo pro instalaci větrné elektrárny lze určit podle průměrné síly větru, tyto oblasti jsou znázorněny na Obr. 23 v Příloze I. Výběr optimální polohy stěžují oblasti, v nichž nelze VTE instalovat, mezi ně patří: chráněné krajinné oblasti, vojenské prostory, vojenské letecké koridory, ochranné pásmo kolem historických a krajinných dominant. Po redukci těchto oblastí dostaneme výsledná místa, na nichž je optimální stavba větrných elektráren, tato místa jsou zobrazena na Obr. 24 v Příloze I.

Z hlediska technické a energetické efektivnosti jsou větrné elektrárny spíše zdrojem problémů, než zdrojem elektrické energie, jež může konkurovat ostatním. Jejich výstavba vede ke zvýšené potřebě záložních zdrojů, ke vzniku úzkých míst v přenosové soustavě a lokálnímu přetěžování vedení. Z těchto důvodů nelze počítat s masivnější podporou výstavby VTE.

[17]

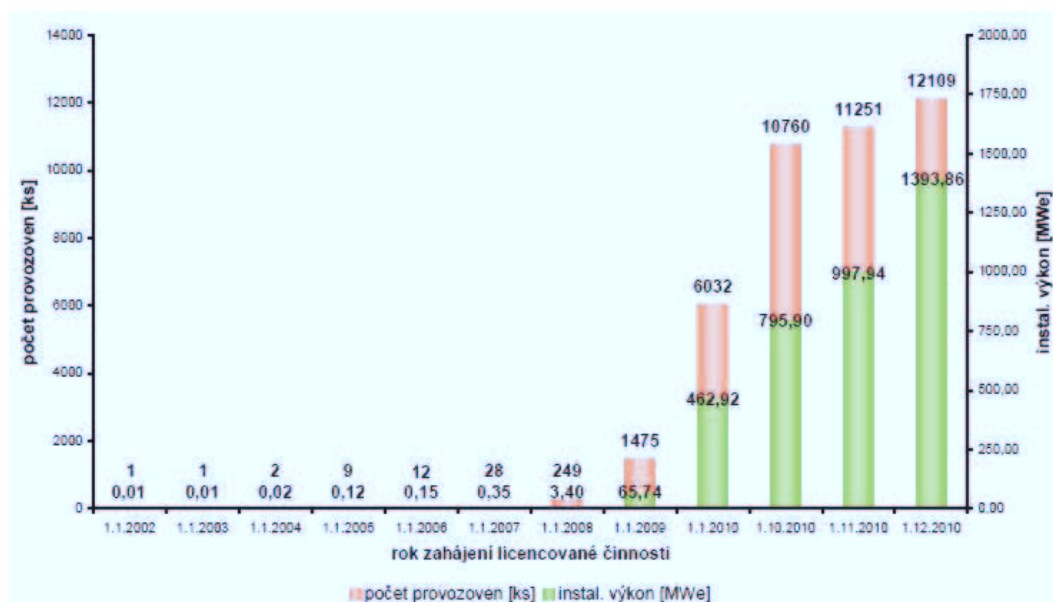
### 3.3 Využití energie slunce

Slunce je nepostradatelným zdrojem energie pro celou naši planetu. Množství energie, jež získává zemský povrch mnohonásobně převyšuje celosvětovou spotřebu energie. Sluneční energie tak představuje obrovský zdroj nabízející se k využití.

[12]

Fotovoltaické systémy mají v současné době jako zdroje elektrické energie stále zanedbatelný přínos, ale nesmíme zapomínat, že jejich instalovaný výkon prudce roste a v momentální době patří k nejvíce diskutovaným obnovitelným zdrojům.

[17]



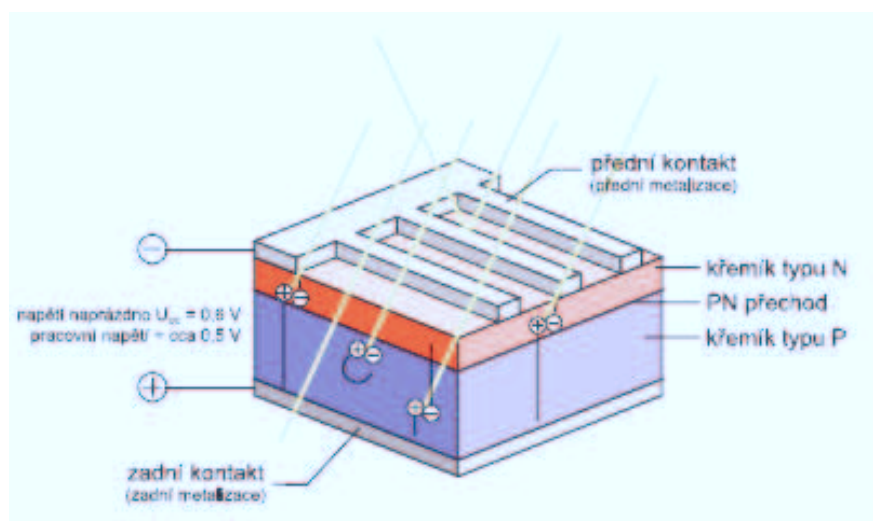
Obr. 8 Vývoj počtu a instalovaného výkonu větrných elektráren

[4]

Přímé využití sluneční energie k získání elektřiny patří z hlediska životního prostředí k nejčistějším a nejšetrnějším způsobům její výroby. Momentálně využívané systémy dovolí získat až 110 kWh elektrické energie za rok z jednoho metru aktivní plochy. Technologie využívající sluneční záření má teoreticky neomezený růstový potenciál.

### Princip solárního článku:

U těchto zdrojů je využito přímé přeměny energie světla na elektrickou energii v polovodičovém prvku, jenž bývá nazýván fotovoltaický, nebo solární článek. V podstatě se jedná o velkoplošnou diodu alespoň s jedním PN přechodem. V solárním článku, na který dopadá světlo, jsou generovány elektricky nabitě částice (pár elektron – díra), jež jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za výsledek napěťový rozdíl mezi kontakty solárního článku. Vnější obvodem zapojeným na tyto kontakty protéká stejnosměrný elektrický proud, který je přímo úměrný ploše článku a intenzitě dopadajícího světla.



**Obr. 9 Princip činnosti solárního článku**

Napětí jednoho článku je malé, přibližně  $0,5 \text{ V}$ , abychom docílili vyššího napětí je potřeba sériového zapojení několika článků. Takto zapojené články jsou hermeticky uzavřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného solárního panelu. Většina dnes vyráběných solárních panelů je opatřena krycím sklem a solární články jsou zalaminovány do struktury plastových folií. Na solární panely jsou kladeny vysoké nároky, zejména ohledně mechanické a klimatické odolnosti (vůči teplotě, vlhkosti, větru). Tyto krycí materiály musejí mít vysokou optickou a izolační stálost, aby nedocházelo k markantnímu snížení účinnosti v průběhu života solárního panelu.

[9]

Účinnost přeměny energie ve fotovoltaických článcích teoreticky dosahuje až  $37 \%$ , ve skutečnosti se dá ovšem mluvit u běžně dostupných článků o účinnosti  $7 - 18 \%$ . Intenzivnímu výzkumu jsou podrobovány články z arseniku galia (GaAs), u kterých je dosahována účinnost až  $20 \%$ . Kombinací klasických křemíkových článků a GaAs lze dosáhnout účinnosti až  $30 \%$ . Výkon článků samozřejmě závisí na okamžitém slunečním záření, jejichž výkon se udává jako špičkový, tudíž při dopadajícím záření s intenzitou  $1000 \text{ W/m}^2$  při definovaném spektru záření. Článek s účinností  $17 \%$  má při ploše  $1 \text{ m}^2$  špičkový výkon  $170 \text{ Wp}$ .

[12]

## Fotovoltaické systémy a aplikace:

K dokonalé činnosti tohoto zdroje elektrické energie je kromě solárního panelu potřeba ještě dalších technických prvků, mezi něž patří napěťové střídače, signalizační a měřicí zařízení, akumulátorové baterie, regulátor dobíjení a další zařízení. Celý soubor těchto prvků nazýváme fotovoltaický systém, jehož skladba závisí na druhu aplikace. Fotovoltaické systémy můžeme rozdělit na:

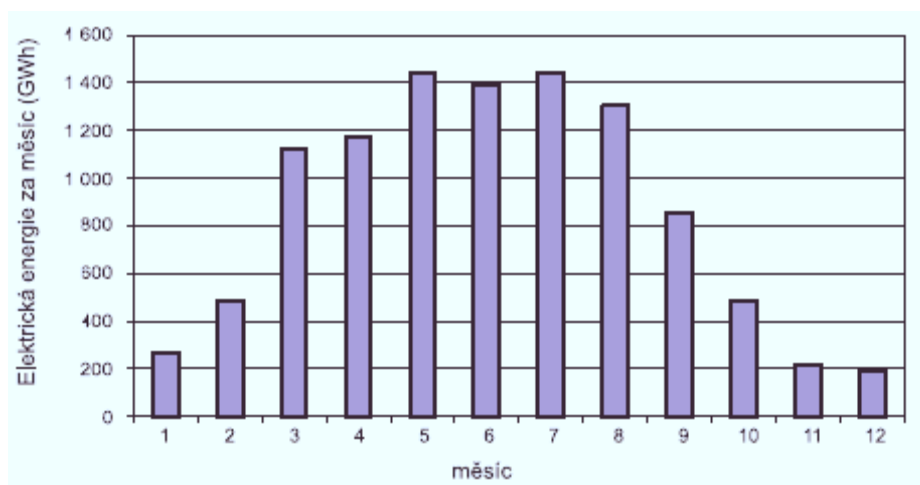
### Systém nezávislý na rozvodné síti (ostrovní systém)

Převládají na místech, kde není potřeba budovat elektrickou přípojku, neboť by investice do přípojky by byly srovnatelné s náklady na fotovoltaický systém. Toto nastává při větších vzdálenostech od rozvodné sítě, špičkové výkony ostrovních systémů dosahují 10 kW. Tyto systémy lze dále dělit:

- Systém s přímým napájením – použití pro spotřebiče, u kterých nevádí napájení pouze při dostatečné intenzitě slunečního záření.
- Systém s akumulací elektrické energie – použití tam, kde je potřeba elektřiny i v době mimo sluneční záření. Tento systém potřebuje akumulátorové baterie a regulátor nabíjení (vybíjení), popřípadě střídač.
- Hybridní ostrovní systém – použití tam, kde je celoroční potřeba elektrické energie. Tento systém bývá rozšířen doplňkovým zdrojem, jenž dodává elektrickou energii v období nedostatečného slunečního svitu.

### Síťový fotovoltaický systém

Mají uplatnění v oblastech s hustou distribuční sítí. Elektrická energie je do sítě dodávána ze solárních panelů přes střídač, tyto systémy fungují automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového měniče. Špičkový výkon těchto systémů se pohybuje v rozmezí kW až MW.



**Obr. 10 Průměrná produkce elektrické energie za měsíc při plném využití teoretického potenciálu v ČR**

### 3.4 Využití energie biomasy

Biomasa má v podmínkách ČR největší technicky využitelný potenciál z obnovitelných zdrojů pro výrobu jak elektřiny, tak i tepla, čímž lze dosáhnout větší účinnosti celého zařízení. Využívání biomasy je tradiční již po tisíciletí, hlavně v oblasti výroby tepla. Elektřina vyrobená z biomasy nemá problémy se stabilitou dodávek, kterou lze dále zvýšit současným využíváním biomasy s fosilními palivy. Avšak nesmíme zapomenout, že biomasa má své limity, jedná se především o dopravní dostupnost. Pěstování biomasy k energetickým účelům lze považovat za efektivní pouze v okruhu do 50 km od uvažovaného místa spotřeby. Dále je biomasa limitována rozlohou půdy danou tzv. potravinovou bezpečností.

Biomasa je látka jejíž původ je biologický, zahrnuje rostlinou biomasu pěstovanou v půdě a vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady. V našich podmínkách představuje biomasu zejména:

- dřevní odpad,
- nedřevní biomasa,
- průmyslové a komunální odpady rostlinného původu,
- produkty živočišné výroby,
- čistírenské kaly, skládky odpadů, tříděný komunální odpad,
- kapalná biopaliva.

Nejlevnějším zdrojem biomasy je využití přírodních odpadů, v případě ČR zejména dřevních odpadů, poněvadž při zpracování a těžbě dřeva je zhruba polovina odpad. Dalším zdrojem jsou rychle rostoucí dřeviny a rostliny bylinného charakteru.

[13]

	Počet respondentů	Výroba elektřiny MWh	Vlastní spotřeba vč. Ztrát MWh	Dodávka do sítě MWh
Dřevní štěpka, odpad	23	650 060,6	112 116,8	537 943,8
Celulóznové výluhy	2	500 511,2	474 838,5	25 672,7
Rostlinné materiály	7	72 918,2	8 526,8	64 391,4
Brikety a pelety	10	164 170,1	32 095,0	132 075,1
Ostatní biomasa	1	8 601,0	0,0	8 601,0
Kapalná biopaliva	1	10,0	10,0	0,0
<b>Celkem</b>	<b>32</b>	<b>1 396 271,1</b>	<b>627 587,0</b>	<b>768 684,0</b>

Tab. 1 Výroba elektřiny z biomasy v r. 2009

[17]



Dřevní odpad se obvykle využívá ve formě hoblin, pilin, štěpky, dřevěných briket a v současnosti hojně využívaných pelet. Tato paliva nacházejí využití nejen v malých, ale i ve velkých topeništích. Dřevěné pelety se za vysokého tlaku bez použití pojidel lisují na velikost 1 až 3 cm a průměrem 0,5 až 2 cm. Jejich jednotným rozměrem je zajištěno rovnoměrné a účinné spalování. Mezi další jejich výhodu patří možnost využití automatických systému pro dodávání paliva do topeniště a z toho plynoucí bezobslužný provoz.

Ve formě štěpky, briket a pelet lze také využít produkty z plantáží energetických rostlin, např. speciální odrůdy topolů, šťovíků a konopí. Nedílnou součástí biomasy jsou také rostliny sloužící k výrobě kapalných biopaliv a bioplynů. Pomineme-li řepku olejnou, nejsou v naší zemi energetické rostliny dostatečně rozšířeny, zde je další volný prostor pro rozšíření OZE.

[12]

Dle obsahu vody lze dále biomasu rozdělit na suchou (dřevo, dřevní odpady, sláma a další odpady), mokrou (tekuté odpady – kejda atd.), speciální (olejniny, škrobové a cukernaté plodiny).

[13]

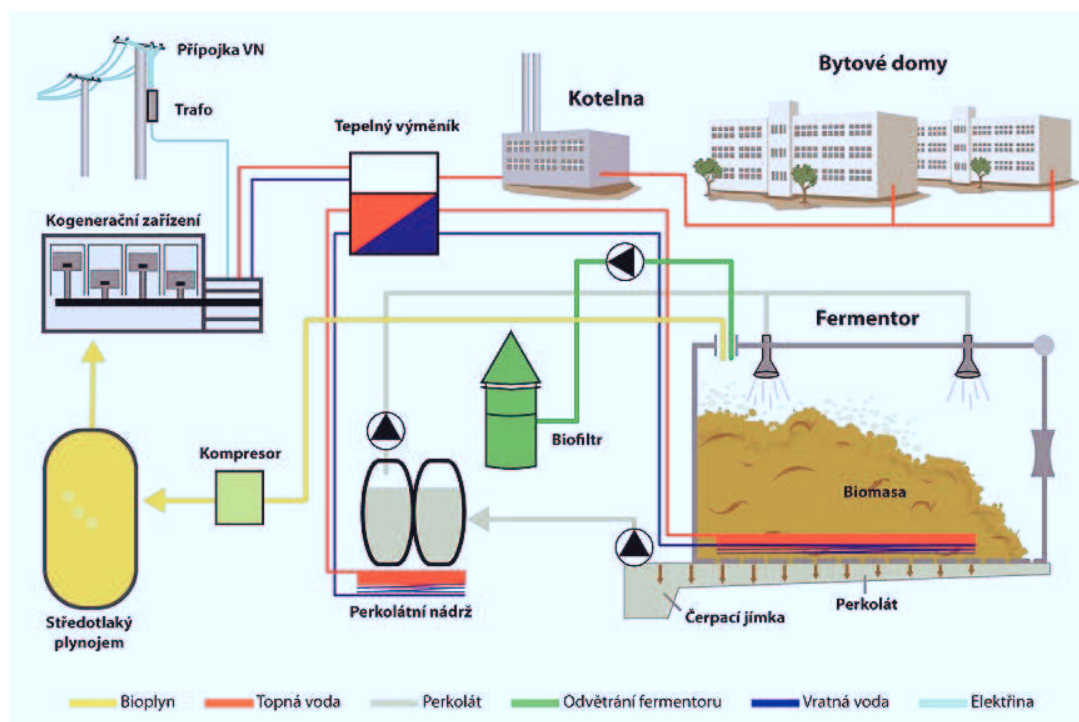
Suchou biomasu lze spalovat přímo, nebo využít způsobu zplyňování, kdy za vysoké teploty uvolňují plynné složky, též nazývané dřevoplyn. Pokud je přítomen vzduch, dojde k přímému hoření, pak jde o proces prostého spalování. Ovšem když bude zamezen přístup vzduchu, lze pak plyn odvádět, pak jej lze spalovat jako ostatní plynná paliva. Zařízení na zplyňování se používají stále ve větším měřítku, tomu napomáhá snadná regulace výkonu, nižší emise, vyšší účinnost.

Mokrou biomasu lze zpracovávat fermentací, díky níž získáme etanol, nebo anaerobní vyhnívání, čímž získáme bioplyn. Bioplyn vzniká při rozkladu organických látek (hnůj, kejda, zelené rostliny, kaly z čističek odpadních vod, ...) v uzavřených nádobách. Tento plyn lze nadále užívat v teplárnách, nebo při kombinované výrobě tepla a elektřiny (kogenerace).

[1]

## Bioplynové stanice

Bioplyn získaný výše popsánymi způsoby, lze dále využívat k výrobě elektrické energie v bioplynových stanicích, ty lze rozdělit na průmyslové a zemědělské. Základní princip bioplynových stanic je znázorněn na Obr. 11. Až 60 % energie získané spalováním bioplynu v kogenerační jednotce je teplo, z toho 30 až 40 % je zapotřebí pro zachování fermentačního procesu. Pro zvýšení účinnosti bývá bývající odpadní teplo využito k vytápění budov a stájí, přípravě teplé užitkové vody, ohřevu pitné vody a nebo také k chlazení mléka.



Obr. 11 Princip bioplynové stanice

### **Vstupy:**

#### Zemědělské suroviny

- kukuřičná siláž
- travní senáž
- hnůj z živočišné výroby
- jiné zemědělské plodiny

#### Odpady

- komunální odpad
- zemědělský odpad
- potravinářský odpad

### **Výstupy:**

- elektrická energie
- teplo
- pevný fermentační zbytek
- tekutý fermentační zbytek

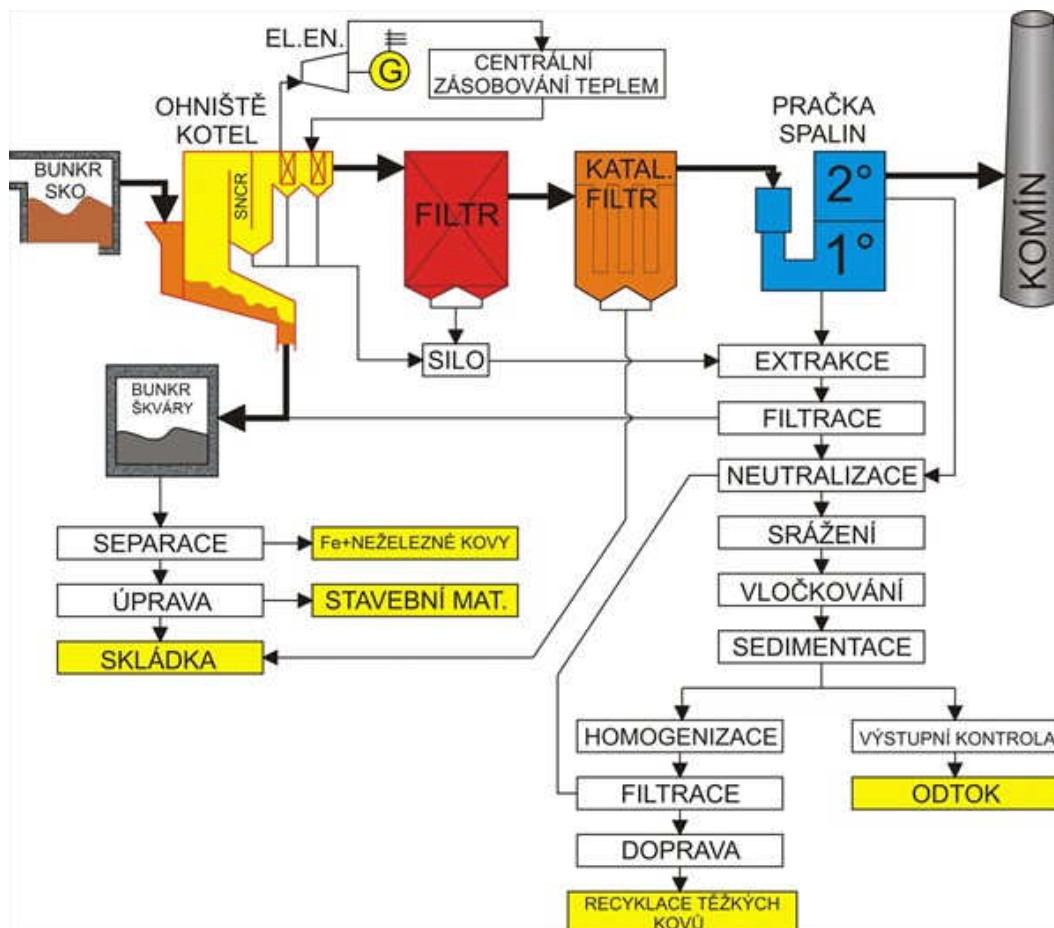
### 3.5 Využití energie tuhých komunálních odpadů

Využitím energetického potenciálu odpadu se rozumí spalování tuhých komunálních, nemocničních a průmyslových odpadů nebo využití alternativních paliv, jenž jsou získávány z odpadu. Především v komunálním odpadu je možnost nalézt až 65 % biologicky rozložitelných složek, jež lze také považovat za obnovitelný zdroj. Česká republika se v minulosti potýkala s odmítavým postojem k využití spalování odpadů jako zdroje energie zejména ze strany Ministerstva životního prostředí. To však v posledních letech zahrnuje výstavbu spaloven do svého Operačního programu životního prostředí.

[17]

Spalování odpadů sebou nese několik překážek, zejména je potřeba počítat se zabudováním zařízení na čištění spalin a emisí skleníkových plynů, jenž vznikají při samotném spalování. Dalším negativem je značná finanční náročnost předělání stávajícího zařízení spalující uhlí na spalování odpadů.

Důležitou vlastností je výhřevnost paliva, jenž souvisí s jeho složením. Základní podmínkou je samozřejmě hořlavost samotného odpadu. Větší odpady je nutno rozdrtit, poté je také důležitá homogenita odpadu, jenž je zaručena vhodným promícháním. Samotný technologický proces získávání energie, jak elektrické tak tepelné, je znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 12 Technologický řetězec spalování BRKO

### 3.6 Využití energie zemského pláště

Geotermální energie se využívá buď ve formě tepla, nebo pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Výhodou této formy energie je stála dodávka nezávislá na klimatických podmínkách a nízkým emisím. Za geotermální zdroje považujeme místa s tepelnou energií, jenž můžeme čerpat při přiměřených investičních nákladech. Místa s největším potenciálem jsou na hranicích litosférických desek, kde existuje geotermální aktivita (horké prameny, výdechy kouře a páry, gejzíry, ...). Geotermální pole mohou být také v místech zeslabení kontinentální kůry.

V přírodě se vykytují čtyři typy geotermálních systémů:

- hydrotermální,
- teplé suché horniny,
- geotlaké,
- magmatické.

Na území České republiky není příliš vhodná situace pro využití energie zemského pláště. V našich zeměpisných podmínkách je k získání geotermální energie využíván systém teplé suché horniny (hot dry rock – HDR). Tento systém využívá teplých podpovrchových hornin, jenž jsou již samy porézní, nebo je musíme rozbít a tímto docílit potřebnou propustnost. Do tohoto horninového prostředí jsou zavedeny nejméně dva vrty, končící několik set metrů od sebe. Jedním je vháněno pracovní médium, jenž se ohřeje, to je pak čerpáno pomocí druhého vrtu na povrch.

Využití systému HDR v ČR počítá s teplotním gradientem 30 K/km a hloubkami vrtů 5 km, tím lze dosáhnout pracovní teploty média 150 °C a s množstvím 150 l/s. Získané médium lze jednak použít k přípravě tepla, ale i k výrobě elektrické energie. Pro výrobu elektřiny nelze získané médium použít přímo, proto se hledají jiné systémy k využití tohoto potenciálu.

#### Organický Rankinův cyklus (ORC)

Nosné médium předá teplo sekundární pracovní látce s nízkým bodem varu, obvykle směs organických látek. Ta se díky geotermální energii odpaří, pára expanduje průchodem parní turbinou, jenž je připojena na generátor. Výstupní pára dále kondenzuje ve vodou chlazeném kondenzátoru, nebo vzduchovém chladiči a je recyklována do výparníku. Účinnost těchto cyklů se pohybuje okolo 10 %.

### **Kalinův cyklus**

Tento cyklus pracuje na principu neorganického Rankinova cyklu, jako pracovní látka je směs vody a čpavku, obvykle 85 % čpavku a zbytek voda. Celý cyklus funguje na obdobném principu jako ORC. Účinnost tohoto cyklu je vyšší oproti organickému Rankinovu cyklu a dosahuje hodnot okolo 15 %.

[9]

V České republice je energie získávána ze zemského pláště, popřípadě podzemních vod a energie prostředí využívána především k získávání tepelné energie. Teplo je získáváno pomocí tepelných čerpadel a to typu voda-voda, země-voda a vzduch-vzduch. Ač v našich zeměpisných šířkách má tepelná energie také nezanedbatelný význam, nebudeme se tímto OZE již dále zabývat.

[12]

## 4 Zpětné vlivy na distribuční síť

V dnešní době je značně probíraným tématem využití obnovitelných zdrojů elektrické energie, zejména těch, jejichž výkony se pohybují do 150 MW. Takovéto zdroje označujeme jako decentralizované zdroje. V závislosti na instalované kapacitě těchto zdrojů v různých zásobovacích celcích jsou patrné vlivy na distribuční síť, na dodávku a kvalitu elektrické energie.

### 4.1 Kvalita elektrické energie z pohledu ČSN EN 50160

Předmětem této normy je definování a popis charakteristik napájecího napětí týkající se:

- kmitočtu,
- velikosti,
- tvaru vlny,
- symetrie třífázových napětí.

Charakteristiky se mění způsobem, který je pro jakékoliv předávací místo náhodný v čase a pro jakýkoliv časový okamžik náhodný co do místa. S ohledem na tyto vlastnosti lze očekávat, že úrovně charakteristik mohou být v malém počtu případů překročeny.

Některé jevy, jenž ovlivňují napětí, jsou nepředvídatelné tak, že je nemožné stanovit u příslušných charakteristik určité hodnoty. Hodnoty uvedené v této normě pro takové jevy, např. krátkodobé poklesy a přerušení napětí, musí být proto interpretovány jako směrné hodnoty. Tato norma nám uvádí hodnoty jak pro síť nn, tak pro síť vn. Značně zkráceně je obsah této normy uveden v Tab. 2 .

	Kritéria dle ČSN EN 50160	
Parametry napětí	nízké napětí	vysoké napětí
Frekvence	a) propojené systémy 50 Hz $\pm 1\%$ během 99,5% roku 50 Hz +4% / -6% neustále b) ostrovní systémy 50 Hz $\pm 2\%$ během 95% týdne 50 Hz $\pm 15\%$ neustále	
Velikost napětí	$U_N = 230 \text{ V}$ v soustavách nn	dohodnuté napájecí napětí $U_C$
Kolísání napětí	a) $U_N \pm 10\%$ pro 95% průměrných efektivních hodnot určených z měřicích intervalů 10 minut během každého týdne b) $U_N +10\%$ / -15% pro všechny průměrné hodnoty určené z měřicích intervalů 10 minut	$U_C \pm 10\%$ pro 95% průměrných efektivních hodnot určených z měřicích intervalů 10 minut během každého týdne
Rychlé změny napětí do 10 % $U_N$	Dlouhodobý flickr $P_{lt} \leq 1$ ve všech 3 fázích pro 95% měření během týdne	Za normálních podmínek 4% $U_C$ za určitých okolností až 6% $U_C$
Krátkodobé poklesy U	Pouze směrné hodnoty	
Výpadky napětí	Pouze směrné hodnoty	
Přechodná přepětí	Pouze směrné hodnoty	
Velikost harmonických i mezipharmonických a THD	$THD \leq 8\%$ pro 95% měření ve 3 fázích. Úrovně harmonických viz. Tab. 8 v přílohách.	$THD \leq 8\%$ pro 95% měření ve 3 fázích. Úrovně harmonických viz. Tab. 9 v přílohách.
Nesymetrie napětí	Zpětná složka napájecího $U \leq 2\%$ sousledné složky pro 95% středních Hodnot určených z měření	-
Napěťové úrovně signálu v napájecím U	V rozmezí 1 - 8% $U_N$ pro nosné kmitočty signálu 0,1-100kHz	

**Tab. 2 Znění normy ČSN EN 50160**



## 4.2 Zpětné vlivy na napájecí síť

Aby nedocházelo k rušení zařízení odběratelů a provozovaných zařízení DS, je potřeba omezit zpětné vlivy lokálních výroben. Pro posouzení se vychází ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí. Bez další kontroly zpětných vlivů lze provozovat výroby, pokud poměr zkratového výkonu ku jmenovitému zkratovému výkonu zařízení není menší než 500. Pokud projde výrobní zařízení ověřením v uznávaném institutu, poté lze použít i příznivější činitel  $S_{KV} / S_{TG}$ . Pro větrné elektrárny je potřeba doložit zkušební protokol, certifikát, nebo podobný dokument o očekávaných zpětných vlivech. Pro posouzení jedné nebo více výroben připojených do jednoho společného napájecího bodu je potřeba vycházet z daných mezních podmínek:

- změna napětí,
- flickr,
- harmonické proudy,
- ovlivnění signálu HDO.

### 4.2.1 Změna napětí

Změny napětí nesmí přesáhnout hodnot:

- $\Delta U \leq 3\% U_N$  pro společný napájecí bod v síti NN,
- $\Delta U \leq 2\% U_N$  pro společný napájecí bod v síti VN.

### 4.2.2 Flickr

Je způsobován rychlou změnou napětí, jež vzniká změnami zatížení, nebo spínáním v síti. Tyto změny napětí se obvykle projevují jako subjektivní změny světelného toku u zdrojů světla. Pro posouzení výroben připojených do jednoho místa rozvodné sítě se zřetelem na kolísání napětí je zapotřebí ve společném bodě NN či VN dodržet mezní hodnotu  $P_{lt} \leq 0,46$ . Dlouhodobá míra flickru  $P_{lt}$  může být vyjádřena pomocí činitele flickru  $c$ , díky němuž lze napsat

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{KV}} \quad (1)$$

Přičemž  $S_{nE}$  je jmenovitý výkon zařízení. Pokud je výsledná hodnota vypočtená pomocí předchozí rovnice větší než 0,46 , poté je možné do vzorce (1) zahrnout fázové úhly a počítat pomocí rovnice:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi_K + \varphi_i)| \quad (2)$$

Pokud má výrobní instalováno více zařízení, je potřeba určit  $P_{lt}$  pro každé zvlášť a výslednou hodnotu pro flickr v přípojném místě dostaneme

$$P_{lt\ res} = \sqrt{\sum_i^n P_{lti}^2} , \quad (3)$$

Pokud budou ovšem všechna zařízení stejná jejich počet bude  $n$ , lze předchozí rovnici zjednodušit a tím dostaneme výraz

$$P_{lt\ res} = \sqrt{n} \cdot P_{lt} . \quad (4)$$

### 4.2.3 Harmonické proudy

Vznik těchto proudů lze obvykle sledovat u střídačů napětí a nebo ve frekvenčních měničích. V podstatě se jedná o proudy, jejichž frekvence je  $n$  násobkem základní frekvence, jež je v našem případě 50 Hz. Harmonické proudy emitované daným zařízením musí udávat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

#### Výrobní v síti NN

Za předpokladu, že do sítě nemůže být připojeno více než dvě vlastní výrobní s maximálním příkonem jedné výrobní 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, lze pro posouzení vyšších harmonických proudů ( $I_v$ ) použít následující kritérium:

$$I_{v\,nn} = i_v \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}}, \quad (5)$$

přičemž

$$\sin \psi_{kV} = \frac{X_k}{Z_k}, \quad (6)$$

pokud je místo připojení poblíž transformátoru VN/NN je výše uveden výraz přibližně roven 1. Vztažné proudy jsou uvedeny v následující tabulce

Řád harmonické $v$	vztažný proud $i_v$ [A/MVA]
5	3
7	2,5
11	1,5
13	1

**Tab. 3 Vztažné proudy pro síť NN**

Tento postup nelze použít, je-li společný napájecí bod v síti VN.

#### Výrobní v síti VN

Pro jediný přípojný bod, lze určit celkové přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů (uvedených v Tab. 4) násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodě

$$I_{v\,př} = i_{v\,př} \cdot S_{kV}, \quad (7)$$

Pokud je ve společném bodě více zařízení, pak se určí přípustné harmonické proudy pro jednotlivá zařízení pomocí vztahu

$$I_{v\text{ př}} = i_{v\text{ př}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}}, \quad (8)$$

přičemž  $S_A$  je zdánlivý výkon zařízení a  $S_{AV}$  je připojitelný, nebo plánovaný výkon v přípojném bodě. U zařízení sestaveného ze stejného typu lze za  $S_A$  dosadit součet  $S_{nE}$ . To také platí pro větrné elektrárny. U zařízení z nestejného typu jde pouze o odhad.

Celkové harmonické proudy vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do sítě VN, jsou uvedeny v Tab. 4.

Pro harmonické s řády násobků tří platí hodnoty uvedené v Tab. 4 pro nejbližší řád, a to pouze, pokud je nulová složka proudu z výroby neuzavíraná do sítě.

řád harmonické $v, \mu$	přípustný vztažný proud $i_{v,\mu}$ [A/MVA]		
	síť 10 kV	síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/ $v$	0,03/ $v$	0,017/ $v$
$\mu < 40$	0,06/ $\mu$	0,03/ $\mu$	0,017/ $\mu$
$\mu > 40$	0,16/ $\mu$	0,09/ $\mu$	0,046/ $\mu$

**Tab. 4 Vztažné proudy pro síť VN**

Pro sčítání proudů harmonických pocházejících jak od různých odběratelů tak i výroben platí následující pravidla:

#### Usměrňovače řízené sítí (6- nebo 12-pulzní)

Harmonické typické pro usměrňovače (5., 7., 11., 13., ... řádu) i nižších řádů ( $v < 7$ ) se sčítají aritmeticky

$$I_v = \sum_{i=1}^n I_{vi} \quad (9)$$

Pro netypické harmonické vyšších řádů ( $v > 7$ ) je celkový harmonický proud roven druhé odmocnině součtu kvadrátů jednotlivých harmonických tohoto řádu

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2} \quad (10)$$

#### Pulzně modulované střídače

Pro řád  $\mu$ , jenž není v zásadě celočíselný, ale pro hodnoty  $\mu > 11$  také obsahuje celočíselné hodnoty, je celkový průběh harmonických proudů roven

$$I_\mu = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu i}^2} \quad (11)$$

Tyto řady se sčítají aritmeticky, pokud se u těchto střídačů vyskytuje netypické harmonické řádu  $\mu < 11$ .

Jsouli překročeny hodnoty přípustných harmonických proudů, nebo přípustné hodnoty mezipharmonických proudů, pak je potřeba důkladnějšího posouzení. Přičemž nesmíme zapomenout, že přípustné harmonické proudy jsou voleny tak, aby platily i při vyšších frekvencích pro induktivní impedanci sítě. V sítích, kde většinu tvoří kabelové vedení, je mnohdy síťová frekvence nižší, takže mohou být přípustné vyšší hodnoty mezních harmonických proudů. Základním předpokladem je výpočet harmonického napětí v přípojném bodu při uvažování skutečné, frekvenčně závislé impedanci sítě. Navíc k dosavadním požadavkům je potřebné dodržet podmínku, že v rozsahu 2 kHz až 9 kHz nepřekročí v přípojném bodě napětí 0,2 %.

Je-li v síti několik přípojných bodů, musí být při posuzování poměrů v jednom bodu brány v potaz také ostatní přípojně body. Pak jsou poměry v síti VN přípustné, pokud v každém přípojném bodu nepřekročí harmonické proudy emitované zařízením

$$I_{vV\ p\check{r}} = i_{v\ p\check{r}} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_{AV}}{S_s}, \quad (12)$$

kde  $S_{AV}$  je součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném bodě a  $S_s$  je celkový výkon, pro který je síť navržena.

Pokud podle tohoto výpočtu dojde k překročení přípustných hodnot harmonických proudů, není připojení v zásadě možné, jestliže důkladnější výpočet neprokáže, že přípustné

hodnoty harmonických napětí v síti nejsou překročeny. Pro jiná síťová napětí, než jsou uvedena v Tab. 4, lze přepočítat vztažné harmonické proudy z hodnot v této tabulce.

### **Výrobní v síti 110 kV**

Pro tyto sítě udává Tab. 5 celkové dovolené proudy harmonických pro zařízení připojená do jedné transformovny, nebo do jednoho vedení 110 kV. Tyto hodnoty se vztahují ke zkratovým výkonům v předávacím místě výroby.

Řád harmonické $v, \mu$	přípustný vztažný proud $i_{v,\mu}$ [A/MVA]
5	2,6
7	3,75
11	2,4
13	1,6
17	0,92
19	0,7
23	0,46
25	0,32
>25 nebo sudé	$5,25/v$
$\mu < 40$	$5,25/\mu$
$\mu > 40$	$16/\mu$

**Tab. 5 Vztažné proudy pro síť 110kV**

Přípustné hodnoty harmonických proudů se pro řady  $v < 13$  získají pomocí výrazu

$$I_{v\,zul} = i_{v,\mu\,zul} \cdot S_{kv} \cdot \frac{S_A}{S_0}. \quad (13)$$

Pro harmonické řady  $v > 13$  a pro meziharmonické platí vzorec

$$I_{v\,zul} = i_{v,\mu\,zul} \cdot S_{kv} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}}, \quad (14)$$

kde  $S_0$  je referenční výkon.

Proudy harmonických a meziharmonických řádů vyšších než 13 se nemusí respektovat, je-li výkon největšího dodávajícího měniče menší než 1/100 zkratového výkonu sítě v přípojném bodu. Pokud je výrobní připojena k úseku vedení, jenž spojuje dva transformátory, dosazuje se za referenční výkon  $S_0$  tepelný mezní výkon tohoto úseku vedení. Při připojení výroby přímo, nebo přes zákaznicko vedení k transformátoru se za  $S_0$  dosazuje maximální vyráběný výkon, jenž lze k transformovně připojit.

#### 4.2.4 Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) bývají provozovány především s frekvencí 183,3 až 283,3 Hz. Vysílací úroveň bývá obvykle v rozmezí 1,5 až 2,5 % jmenovitého napětí. Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jenž částečně vychází z 50 Hz zatížení sítě, jenž napájí svým signálem. Výrobní připojené na přípojnici, do níž je vysílán signál HDO ho ovlivňují přídatným zatížením vysílačů HDO, jenž vyplývá z :

- vlastního zařízení výrobní
- případného zvýšení zatížení části sítě, do které pracuje výrobní.

V těchto případech se posuzuje vliv dané výrobní na zatížení vysílače signálu HDO. Vychází se z informace PDS o jeho zatížení a jmenovitém proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a VN je 5 % jmenovitého proudu

Výrobní, jež jsou připojeny k síti mimo přípojnici, do níž je vysílán signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5 %, za předpokladu dodržení minimální přípustné úrovně signálu. Tato úroveň musí být splněna i při mimořádných zapojeních sítě.

Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

- síť NN 150%  $U_F$
- síť VN 190%  $U_F$
- síť 110 kV 200%  $U_F$

$U_F$  je náběhové napětí signálu HDO, obvykle dosahuje hodnot 0,8 až 0,9  $U_N$ .

Nepřípustné změny hladiny signálu HDO musí být zamezeny odpovídajícími technickými prostředky, obvykle hradícími členy. Jejich technické parametry musí být schváleny provozovatelem DS.

Při posuzování poklesu hladiny signálu HDO výrobními je potřeba počítat s následujícími hledisky:

- výrobní připojené statickými střídači bez filtru způsobují pouze malé snížení HDO signálu, ovšem pokud jsou výrobní vybaveny filtry, je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výrobní,
- jeli výrobní vybavena synchronními nebo asynchronními generátory, jenž jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles HDO signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, frekvence HDO a zkratový výkon sítě,
- kromě snížení úrovně signálu, je také zapotřebí zabránit negativní produkci rušivého napětí,
- výrobní vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá frekvenci HDO nebo leží v její těsné blízkosti, nesmí překročit 0,1 %  $U_N$ ,

- výrobnou produkované napětí, jehož frekvence je do 100 Hz pod nebo nad použitou frekvenci signálu HDO, nesmějí v přípojném místě překročit 0,3 %  $U_N$ .

Uvedené hodnoty vycházejí z předpokladu, že v síti NN jsou připojeny maximálně dvě vlastní výrobní, pokud by tomu bylo jinak, je zapotřebí zvláštních výpočtů.

Pokud výrobní ovlivňuje mimo povolenou míru zařízení HDO, je zapotřebí, aby provozovatel učinil opatření, jenž povedou k odstranění ovlivnění.

Bez posouzení je možné připojit k síti výrobní, jejichž výkon nepřesáhne hodnoty v přípojném bodě a v celé přípojně oblasti, jenž jsou uvedeny v následující tabulce.

Napěťová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobního zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	10 kVA	20 kVA
VN	2 MVA	4 MVA
110	20 MVA	40 MVA

**Tab. 6 Přípustný výkon výroben**



## 5 Limity připojitelnosti

Aby bylo možné malé elektrárny nebo jejich farmy připojit do distribuční sítě, musí výrobce požádat o připojení, projít přihlašovací řízení s danými zákonnými normami a dále splnit podmínky pro připojení, které jsou dány provozovatelem distribuční sítě (PDS) - Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribučních soustav. Žádost o připojení musí obsahovat technické specifikace připojovaného zdroje a dále je také potřeba znát konfiguraci sítě a místo připojení. Na základě těchto technických specifikací je potřeba provést studii připojitelnosti, kdy se zkoumá, zda-li nový výrobní zdroj může být připojen do distribuční sítě na základě pravidel pro paralelní provoz zdrojů. Při posuzování jsou vyhodnocovány následující parametry:

- zvýšení napětí po připojení,
- zvýšení napětí při spínání,
- flíker (související s kolísáním),
- proudy vyšších harmonických,
- ovlivnění zařízení HDO (hromadné dálkové ovládání).

[14]

### 5.1 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů s distribuční soustavou

Při zřizování vlastních výrobní elektrické energie je zapotřebí dbát na to, aby byla vhodná pro paralelní provoz se sítí PDS a bylo vyloučeno rušivé zpětné působení zdrojů na síť nebo zařízení dalších odběratelů.

Při zřizování a provozu elektrických zařízení je zapotřebí dodržovat:

- současné platné zákonné a úřední předpisy,
- platné normy ČSN, PNE, případně předpisy a nařízení PDS,
- předpisy pro ochranu pracovníků a bezpečnost práce.

Před připojením k síti, je potřeba projít přihlašovacím řízením, k němuž je potřeba dodat:

- situační plán, na kterém jsou vyznačeny hranice pozemku a místo výstavby včetně širších vztahů,
- přehledové schéma celého elektrického zařízení s jmenovitými hodnotami použitých zařízení vč. údajů o vlastních přípojných vedeních a rozvodném zařízení výrobce elektriny,
- údaje o zkratové odolnosti předávací stanice,
- elektrická data napájecího/ch transformátoru/ů, tzn. výkon, převod, napětí nakrátko, spojení vinutí, ztráty naprázdno a nakrátko, atd.,
- popis ochrany s přesnými údaji o druhu, výrobci, zapojení a funkci,

- příspěvek vlastní výroby k počátečnímu zkratovému proudu v místě připojení k síti popis druhu a způsobu provozu pohonu, generátoru a případně střídače stejně jako způsob připojení k síti včetně technických dat a zkušebních protokolů,
- u střídačů, měničů frekvence a synchronních generátoru s buzením napájeným usměrňovači: zkušební protokoly k očekávaným proudům harmonických a meziharmonických,
- u větrných elektráren: osvědčení a zkušební protokol k očekávaným zpětným vlivům (jmenovitý výkon, činitel flikru, kolísání činného a jalového výkonu, vnitřní úhel zdroje, meze pro řízení účinníku - kapacitní/induktivní).

Pokud nebude žádost o připojení obsahovat všechny důležité náležitosti, bude žadatel vyzván k doplnění žádosti. Na požádání poskytne PDS všechny informace a podmínky připojení výroby k DS. Splní-li žadatel všechny požadavky následuje připojení k síti, místo a způsob stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům. Připojení k síti je pomocí spínacích zařízení, kterému je předřazena zkratová ochrana.

### **Podmínky připojitelnosti**

K zabránění zavlečení zpětného napětí do distribuční sítě je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výroby k síti PDS bylo možné pouze tehdy, jsou-li všechny fáze pod napětím. K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí nad rozběhovou hodnotou podpěťové ochrany. K ochraně vlastní výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut. Časové odstupňování při připojování více generátorů v jednom společném předávacím místě je zapotřebí odsouhlasit s PDS.

### **Zvýšení napětí**

Zvýšení napětí vyvolané samotným provozem výroben nesmí překročit 2 % pro připojení do sítě VN, pro výroby připojené do sítě NN nesmí překročit 3 % ve srovnání s napětím bez připojení dané výroby.

Pokud je v síti pouze jediné přípojné místo, je možné tuto podmínku posoudit jednoduše, a to pomocí poměrů zkratového výkonu

$$k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{A \max}}, \quad (15)$$

kde čítec je zkratový výkon v přípojném bodě a jmenovatel je součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených (plánovaných) výroben.

U analýzy  $S_{Amax}$  je zapotřebí u větrných elektráren vycházet z maximálních zdánlivých výkonů jednotlivého zařízení  $S_{Emax}$  :

$$S_{Emax} = S_{Emax 10 min} = S_{nG} \cdot p_{10 min} = \frac{P_{nG}}{\lambda} \cdot p_{10 min} , \quad (16)$$

přičemž maximální střední výkon v intervalu 10 min ( $p_{10min}$ ) je nutno převzít ze zkušebního protokolu. V případě jediného předávacího místa v síti bude podmínka zvýšení napětí dodržena vždy, pokud bude zkratový poměr výkonů  $k_{k1}$  pro výroby s předávacím místě v síti VN

$$k_{k1VN} \geq 50 , \quad (17)$$

obdobně pro výroby s předávacím místě v síti NN

$$k_{k1VN} \geq 33 . \quad (18)$$

Pokud je síť VN a NN značně induktivní, je zapotřebí provést výpočet komplexně s impedancí sítě s jejím fázovým úhlem  $\psi_{kV}$  , jenž poskytne mnohem přesnější výsledek. Pak je maximální výkon pro výroby připojené na síť VN dán vztahem:

$$S_{Amax} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} \quad (19)$$

pro připojení do sítě NN pak platí:

$$S_{Amax} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi)|} \quad (20)$$

Kde je  $\varphi$  je fázový úhel mezi fázory napětí a proudu výroby při zdánlivém výkonu  $S_{Amax}$ . U výroben, jež odebírají jalový výkon, platí:

$$\begin{aligned} P > 0 \text{ a } Q > 0 \\ 0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ \end{aligned} \quad (21,22)$$

U výroben, jež dodávají jalový výkon, platí:

$$\begin{aligned} P > 0 \text{ a } Q < 0 \\ 270^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ \end{aligned} \quad (23,24)$$

V praxi mnohdy bývá udán maximální připojitelný výkon, pak je potřeba určit zvýšení napětí v přípojném bodu

$$\Delta u_{AV} = \frac{S_{A \max} \cdot \cos(\psi_{kV} - \varphi)}{S_{kV}} \quad (25)$$

### Změna napětí při spínání

Změny napětí vyvolané připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů, nebo zařízení nevyvolají nepřipustné zpětné vlivy v případě, kdy největší změny napětí nepřekročí:

- 3 % s předávacím místem v síti NN,
- 2 % s předávacím místem v síti VN.

Toto platí pokud není spínání častější než jednou za 90 s.

Při velmi malé četnosti spínání (např. jednou denně) může PDS připustit vyšší změny napětí, pokud to ovšem dovolí poměry v síti.

Pro výroby v síti 110 kV platí pro změny napětím vyvolané spínáním:

- normální provoz - spínání jedné výrobní jednotky (např. generátor)  $\Delta u_{\max} \leq 0,5 \%$ ,  
- spínání celého zařízení (např. větrný park)  $\Delta u_{\max} \leq 2 \%$ ,
- poruchový stav - spínání celého zařízení  $\Delta u_{\max} \leq 5 \%$ .

V závislosti na zkratovém výkonu  $S_{kV}$  v síti PDS a jmenovitém zdánlivém výkonu  $S_{nE}$  jednotlivé výroby lze odhadnout změnu napětí

$$\Delta u_{\max} = k_{i \max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \quad (26)$$

Činitel  $k_{i \max}$  označuje největší spínací ráz a udává poměr největšího proudu při spínacím pochodu ke jmenovitému proudu zařízení, nebo generátoru.

Asynchronní stroje připojovány s otáčkami, jež se blíží synchronním, mohou způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovéto poklesy mohou dosáhnout maximálně dvojnásobku hodnoty přípustné, to znamená pro síť VN 4 % a pro síť NN 6 % , pokud netrvá déle než dvě periody a následující hodnoty odchylky napětí splňují přípustné hodnoty.

Pro větrné elektrárny platí speciální činitel spínání, jenž je závislý na síti. Tento činitel respektuje velikost, ale i časový průběh proudu při přechodovém ději. Udává se jako funkce

úhlu impedance sítě  $\psi$  pro každé zařízení ve zkušebním protokolu. S jeho pomocí lze určit fiktivní změnu napětí

$$\Delta u_{ers} = k_{i\psi} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}, \quad (27)$$

tato hodnota rovněž nesmí překročit přípustné hodnoty.

S ohledem na co největší minimalizaci zpětných vlivů na síť je potřeba omezit současného spínání více generátorů v jednom předávacím místě. Technickým řešením je časové odstupňování připojování jednotlivých generátorů, jenž je závislé na vyvolaných změnách napětí. Při maximálním přípustném výkonu generátoru musí být minimálně 90 s. Při zdánlivém výkonu generátoru do poloviny přípustné hodnoty postačí pouze časový odstup 12 s.

#### Připojení strojů

Pro připojení synchronních generátorů je potřeba takové synchronizační zařízení, se kterým lze dodržet tyto podmínky:

- rozdíl napětí  $\Delta U < \pm 10\% U_N$ ,
- rozdíl frekvence  $\Delta f < \pm 0,5 \text{ Hz}$ ,
- rozdíl fáze  $< \pm 10^\circ$ .

Asynchronní generátory rozbíhané pohonem musí být připojeny bez napětí při otáčkách 95 % až 105 % synchronních otáček generátoru. U asynchronních generátorů schopných ostrovního provozu, jenž nejsou připojovány bez napětí, platí stejné podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

Jsouli připojovány výrobní se střídači, musí být připojovány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. Pokud jsou schopny tyto výrobní ostrovního provozu a nejsou připojovány bez napětí, platí stejné podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

### **Zvláštní požadavky na výroby s OZE s výkonem nad 15 MW**

Cílem těchto požadavků je nejen zamezit výpadkům zdrojů při napěťových poklesech ale i napětí určitým způsobem podporovat, tak jako je tomu u klasických synchronních generátorů. Dalším cílem je reagovat na nárůst frekvence snížením dodávaného činného výkonu ještě předtím, než by došlo k jejich odpojení při zvýšené frekvenci.

Činný výkon dodávaný z OZE musí být říditelný podle požadavků provozovatele DS, aby mohl působit proti poruše nebo ohrožení rovnováhy v systému. Přitom musí být výstupní výkon v každém provozním stavu a z každého provozního bodu redukovatelný na maximální hodnotu výkonu udanou provozovatelem sítě. Všechny výroby z obnovitelných zdrojů musí za provozu při frekvenci vyšší než 50,2 Hz snížit okamžitý činný výkon s gradientem 40 %/Hz ze současně dostupného výkonu generátoru. Při návratu frekvence na hodnotu  $\leq 50,05$  Hz smí činný výkon opět růst, pokud aktuální frekvence nepřekročí 50,2 Hz. Tato regulace je zajištěna decentralně na každém generátoru, pásmo necitlivosti musí být menší než 10 mHz.

Dodávky jalového výkonu z OZE musí po několika minutách odpovídat požadovaným hodnotám provozovatele DS, jenž je zadává jedním z následujících způsobů:

- účínkem  $\cos \varphi$ ,
- jalovým výkonem  $Q$  [MVar],
- hodnotou napětí  $U$  [kV].

### **Chování při poruchách v síti**

Provozovatel provozovny musí sám přijmout takové požadavky, aby zabránil škodám vzniklým na jeho vlastním zařízení v případě opětovného zapnutí v distribuční síti. Dále musí zajistit zjištění a následného zvládnutí možného ostrovního provozu výroby, i když nedojde k překročení (poklesu) napětí, nebo frekvence mimo přípustné definované meze.

Při poruchách v síti, jež už nejsou v chráněném pásmu výroby, nesmí dojít k odpojení od sítě. Po dobu trvání poruchy je totiž potřeba dodávat příspěvek ke zkratovému proudu, ten je zapotřebí dohodnout s provozovatelem sítě s ohledem na výrobní zařízení.

Dojde-li k poklesu napětí v přípojném bodě pod 85 % vztažného napětí a jeho setrvání při současném odběru jalové energie, musí dojít k odpojení výroby od sítě se zpožděním 0,5 s. Při poklesu a setrvání napětí na nižší napěťové hladině transformátoru na nebo pod 80 % spodního pásma napětí, musí být vždy jedna čtvrtina generátorů odpojena od sítě za 1,5 s, další za 1,8 s, 2,1 s a poslední v čase 2,4 s. Časové odstupňování může být dohodnuto i jinak. Při vzrůstu a setrvání napětí na nižší napěťové hladině transformátoru na a nad 120 % horní meze

napětového pásma musí být příslušný generátor odpojen od sítě s časovým zpožděním 100 ms. Měřicí člen pro přepětovou a podpětovou ochranu musí mít přídržný poměr 0,98 až 1,02 .

Při frekvenci mezi 47,5 Hz a 51,5 Hz je automatické odpojení od sítě z důvodu odchylky frekvence od 50 Hz nepřípustné. Při poklesu frekvence pod 47,5 Hz musí dojít k nezpožděnému odpojení, resp. při vzrůstu nad 51,5 Hz smí dojít k automatickému odpojení od sítě.

[11]

## 6 Vliv větrné elektrárny na distribuční síť

Větrné elektrárny patří do skupiny obnovitelných zdrojů. Mezi jejich největší předností patří minimální přímé dopady na životní prostředí. VTE využívají sílu větru, jenž v podstatě vzniká na rozhraní tlakové výše a níže. Tato přírodní energie dopadá na listy vrtule, jež točí s hřídelí, jež je pomocí převodovky připojena ke generátoru, jenž slouží k výrobě elektrické energie. Tato energie je pak v přípojném bodě dodávána do veřejné sítě.

Analyzovaná data v této diplomové práci byla naměřena v přelomu měsíců března a dubna roku 2008 na větrné elektrárně Veselí u Oder.

### 6.1 Větrná elektrárna Veselí u Oder

U obce Veselí u Oder v okrese Nový Jičín byly v roce 2007 spuštěny dvě větrné elektrárny s instalovaným výkonem 2 x 2 MW. V nadmořské výšce 539 metrů nad mořem jsou na stožárech 80 metrů umístěny třílisté větrné elektrárny Vestas V90, na jejichž výstupech je pomocí kaskádního zapojení frekvenčních měničů získáváno nízké napětí 690 V. Vyrobená energie je dodávána do distribuční sítě pomocí přípojného bodu na hladině 22 kV. V roce 2009 vyrobily tyto dvě soustrojí celkem 8,794 GWh elektrické energie.

#### 6.1.1 Vestas V90

Firma Vestas je dánský výrobce mnoha druhů větrných elektráren o různém výkonu. Námi zkoumaná elektrárna je vybavena zařízením označeným V90. Toto zařízení je konstruováno pro střední a nízké rychlosti větru, dále se vyznačuje spolehlivostí.

Třídy rychlosti větru:

- jmenovitá rychlost  $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- startovací rychlost  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- vypínací rychlost  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Optimální provozní rozsah teplot:  $-20$  až  $+40$  °C

Vrtule:

- průměr rotoru 90 m
- pracovní plocha  $6,362 \text{ m}^2$
- jmenovité otáčky  $14,5 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$
- rozsah otáček  $9,3 - 16,6 \text{ ot}\cdot\text{min}^{-1}$



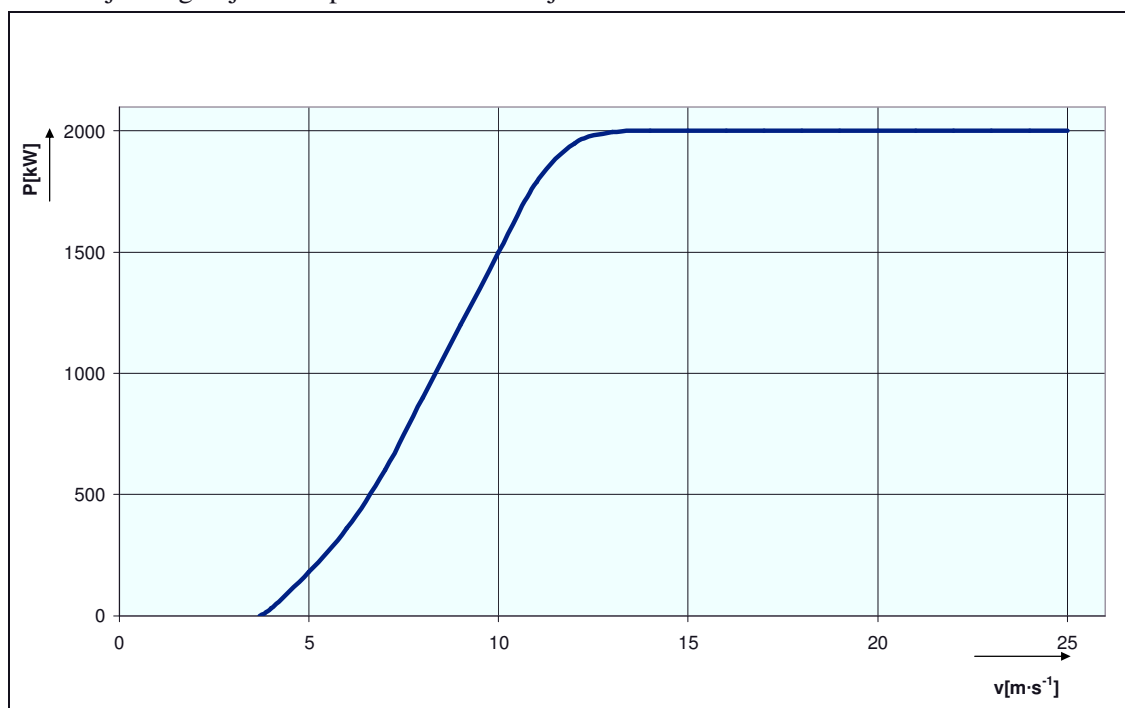
Elektrické parametry:

- frekvence 50/60 Hz
- kroužkový generátor 4-pólový (50 Hz)/ 6-pólový (60 Hz)

Listy rotoru jsou vyrobeny z epoxidové pryskyřice vyztužené skelným a uhlíkovým vláknem. Každý ze tří listů se skládá ze dvou profilovaných skořepin, jež obklopují nosnou konzoli. Speciální ocelové vložky spojují listy rotoru s jejich ložiskem, jenž je provedeno jako čtyřbodové kuličkové ložisko sešroubované s hlavou listu.

Hlavní hřídel přenáší energii přes převodovku na generátor, ta je kombinací planetového a čelně ozubeného převodu se šikmými zuby. Od převodovky se energie přenáší přes kompozitní spojku na generátor. Generátor je asynchronní čtyřpólový generátor s rotorovým vinutím vyvedeným na kroužky. Odsud je napětí přiváděno na zvyšovací transformátor, který je umístěn ve zvláštní místnosti na konci strojovny. Jedná se o konstrukci s použitím suché pryskyřice, která byla vyvinuta speciálně pro použití ve větrných elektrárnách.

Systémy OptiTip® a OptiSpeed™, jimiž jsou tyto VTE vybaveny, optimalizují výkon při různých rychlostech větru, nezávisle na teplotě a hustotě vzduchu. Při vysokých rychlostech větru, tento systém natáčení listů zajišťuje, aby výroba energie nepřekročila jmenovitý výkon. Větrná elektrárna je vybavena brzdicím systémem, který v případě potřeby zastaví rotaci. Tento systém nastavuje listy rotoru a aktivuje při tom hydraulickou zajišťovací brzdou. Zajišťovací brzda je umístěna na vysokorychlostním hřídeli převodovky. Veškeré funkce větrné elektrárny kontroluje a reguluje mikroprocesorová řídicí jednotka.



Obr. 13 Výkonová křivka Vestas V90

Automatizovaný řídicí systém je vybaven řadou čidel, které zajišťují bezpečný a optimální provoz celého zařízení. Pohon mechanismu natáčení listu je zajištěn trojicí hydraulických válců. Hydraulická jednotka instalována ve strojovně, je společná pro systém natáčení listů i brzdící systém. Tyto systémy jsou vybaveny hydraulickými akumulátory, jenž v případě výpadku dodávky elektrické energie ze sítě zajišťují regulované a bezpečné odstavení zařízení.

[16]

## 6.2 Zpětné vlivy VTE

Požadavkem provozovatele distribuční soustavy je co největší kvalita elektrické energie, což klade na provozovatele výroben požadavek omezit zpětné vlivy na co nejmenší možnou úroveň. Čímž ovšem rostou investiční náklady spojené s výstavbou a provozem výroby.

Mezi nejvýznamnější zpětné vlivy VTE patří:

- změny rozložení toků výkonů,
- vliv na kvalitu el. energie, zejména napětí,
- časový interval dodávky elektřiny,
- přechodové jevy vznikající při spínání systému VTE,
- vzrůst zkratových proudů.

V současnosti je u většiny VTE jako zdroje elektrické energie použito asynchroních generátorů. U malých výkonů je asynchronní motor s kotvou na krátko připojen na síť pomocí tyristorového spouštěče (substartér). Jinak tomu je u VTE s velkým výkonem, kde je použit asynchronní generátor s kroužkovým rotorem v kaskádním zapojení.

### Asynchronní generátor se substartérem

Toto provedení se vyznačuje provozní jednoduchostí, z čehož vyplývají malé nároky na údržbu. Mezi nevýhody tohoto systému patří menší účinnost při menších rychlostech větru, poněvadž je potřeba aby generátor běžel v nadsynchroních otáčkách, čehož v tomto případě není docíleno. Mezi další nevýhody patří nedostatečná kompenzace jalového výkonu, přechodové jevy při spínání asynchronního generátoru.

### **Asynchronní generátor s kroužkovým rotorem v kaskádním zapojení**

V podstatě se jedná o asynchronní generátor s kroužkovým rotorem, jenž spolupracuje s měničem frekvence a rekuperační jednotkou. Přičemž rotor AG je napájen z frekvenčního měniče a stator je přes zvyšovací transformátor připojen do distribuční sítě. Systém řízení VTE zpracovává rychlost větru a otáčky větrného motoru, čemuž je přizpůsobována momentová charakteristika stroje. Tímto je dosaženo co nejlepšího využití větrné energie s minimalizací nežádoucích zpětných vlivů na distribuční síť. Řídící systém také minimalizuje proudové rázy při připojování VTE do sítě, čímž dochází k eliminaci vážných přechodových jevů.

[5]

## 6.3 Analýza naměřených dat

### Analyzovaná data

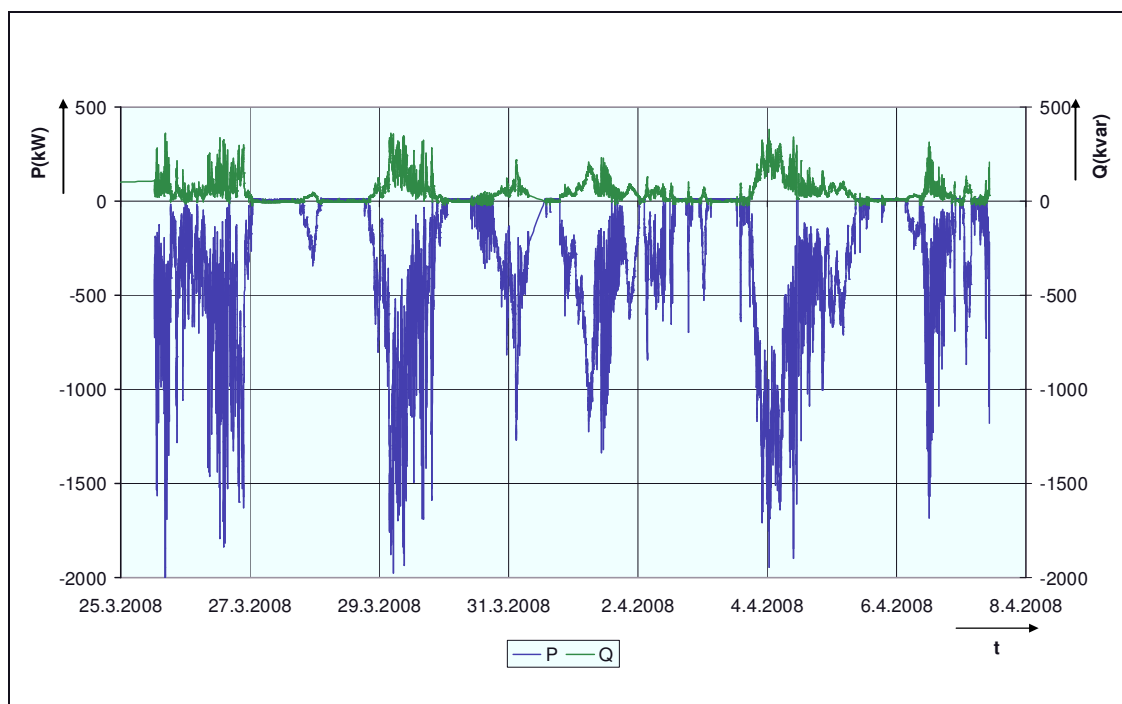
Datum	Čas	U	I	P	Q	S	cos φ
		[kV]	[A]	[kW]	[kvar]	[kVA]	[-]
29.3.2008	10:19:00	13,220	29,8	-1157,6	193,9	1173,8	-0,986
29.3.2008	10:20:00	13,202	24,2	-922,8	147,8	934,6	-0,988
29.3.2008	10:21:00	13,217	26,3	-1015,9	165,3	1029,3	-0,987
29.3.2008	10:22:00	13,208	28,2	-1092,1	178,9	1106,7	-0,987
29.3.2008	10:23:00	13,209	22,5	-876,4	136,2	887,0	-0,988
29.3.2008	10:24:00	13,201	18,3	-711,1	106,0	719,0	-0,989
29.3.2008	10:25:00	13,201	22,5	-866,3	135,9	877,0	-0,988
29.3.2008	10:26:00	13,179	20,5	-800,1	121,8	809,4	-0,989
29.3.2008	10:27:00	13,396	18,6	-737,6	111,3	746,0	-0,989
29.3.2008	10:28:00	13,425	14,2	-553,7	82,0	559,8	-0,989
29.3.2008	10:29:00	13,407	10,3	-401,5	58,0	405,7	-0,990
29.3.2008	10:30:00	13,413	15,9	-621,8	91,7	628,6	-0,989
29.3.2008	10:31:00	13,434	19,3	-762,6	116,0	771,4	-0,989
29.3.2008	10:32:00	13,422	18,7	-737,0	110,9	745,3	-0,989
29.3.2008	10:33:00	13,421	19,7	-777,2	117,7	786,0	-0,989
29.3.2008	10:34:00	13,437	17,4	-689,7	102,9	697,4	-0,989
29.3.2008	10:35:00	13,428	13,2	-515,5	74,4	520,8	-0,990
29.3.2008	10:36:00	13,410	14,7	-577,7	83,0	583,7	-0,990
29.3.2008	10:37:00	13,423	14,5	-575,0	83,3	581,0	-0,990
29.3.2008	10:38:00	13,431	11,8	-468,6	67,4	473,4	-0,990
29.3.2008	10:39:00	13,416	13,7	-545,0	78,1	550,6	-0,990
29.3.2008	10:40:00	13,407	11,0	-436,8	61,2	441,1	-0,990
29.3.2008	10:41:00	13,406	9,9	-390,3	54,3	394,1	-0,990
29.3.2008	10:42:00	13,415	9,4	-369,3	51,6	372,9	-0,990
29.3.2008	10:43:00	13,404	11,9	-473,0	66,3	477,6	-0,990
29.3.2008	10:44:00	13,395	12,4	-492,0	69,3	496,8	-0,990
29.3.2008	10:45:00	13,423	11,3	-444,4	62,7	448,8	-0,990
29.3.2008	10:46:00	13,408	10,8	-428,4	59,2	432,5	-0,991
29.3.2008	10:47:00	13,414	10,2	-399,1	56,2	403,1	-0,990
29.3.2008	10:48:00	13,432	13,0	-517,2	73,3	522,3	-0,990
29.3.2008	10:49:00	13,422	10,6	-416,2	58,8	420,3	-0,990
29.3.2008	10:50:00	13,410	12,3	-485,2	68,9	490,1	-0,990
29.3.2008	10:51:00	13,411	13,4	-532,0	76,4	537,5	-0,990
29.3.2008	10:52:00	13,443	14,6	-578,2	83,7	584,2	-0,990
29.3.2008	10:53:00	13,419	12,9	-511,3	73,2	516,6	-0,990
29.3.2008	10:54:00	13,411	11,4	-450,5	64,1	455,0	-0,990
29.3.2008	10:55:00	13,434	12,7	-505,4	72,4	510,6	-0,990
29.3.2008	10:56:00	13,446	14,8	-588,4	85,8	594,7	-0,990

Tab. 7 Analyzovaná data

Zkoumaná data pochází z roku 2008 a zaznamenávají období od 25. března až do 7. dubna. Jednotlivé hodnoty jsou vzorkovány po 1 minutě, z tohoto důvodu nelze zkoumat rychlé časové děje, jenž nám také zhoršují kvalitu elektrické energie. Analýza dat byla provedena pomocí softwaru Microsoft Excel, v němž byly prováděny výpočty a vykreslování grafů.

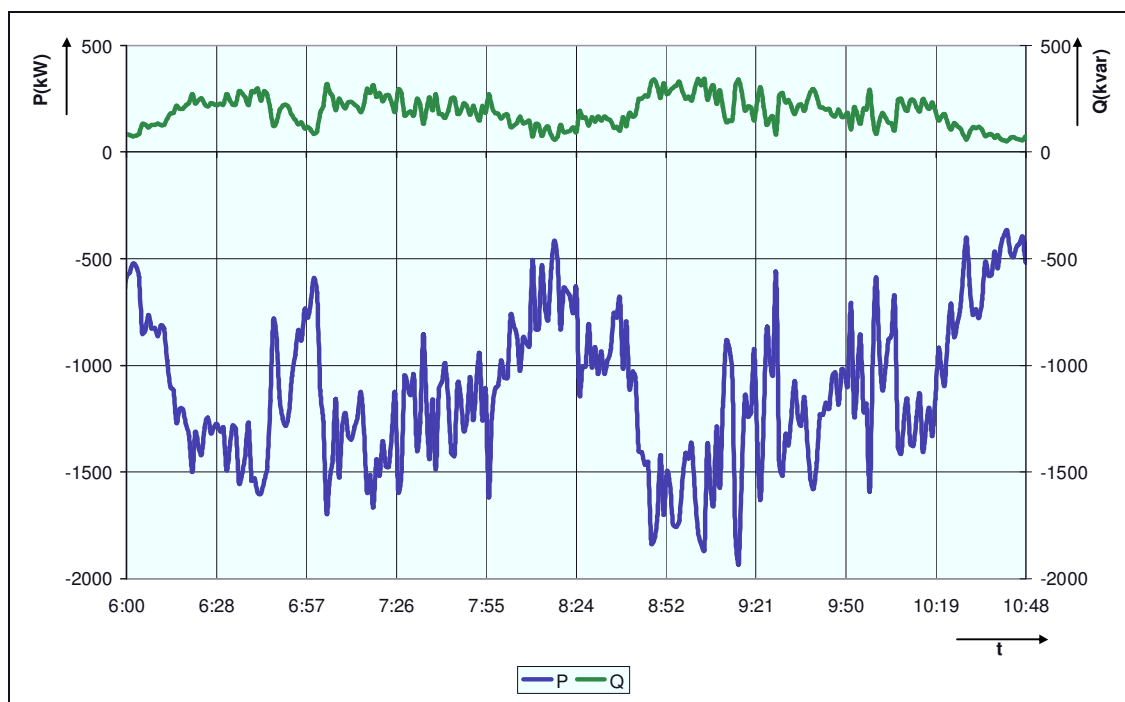
### Dodávka energie

U VTE je jedním z hlavních negativních vlivů závislost velikosti dodávané energie na síle větru. Na následujícím obrázku je znázorněn průběh činného a jalového výkonu v měřeném období. Z grafu je patrné, že dodávaný činný výkon se pohybuje v intervalu 0 až 2 MW. Dále lze vypočítat také odběr činného výkonu, který se v průměru pohybuje okolo 8 kW. Maximální hodnota energie odebírané ze sítě za sledované období dosáhla 30 kW. Zkoumaná VTE se převážně vyznačuje odebíráním jalové energie, což je splněno, běží-li soustrojí v generátorickém chodu. V tomto případě dosahuje maximální odebíraný jalový výkon až 380 kvar. V případě, že VTE odebírá ze sítě činný výkon  $P$ , je zároveň dodáván jalový výkon, a to v průměru 5 kvar. Maximální dodávaný zdánlivý výkon  $Q$  je 26,4 kvar.



Obr. 14 Časová závislost činného a jalového výkonu

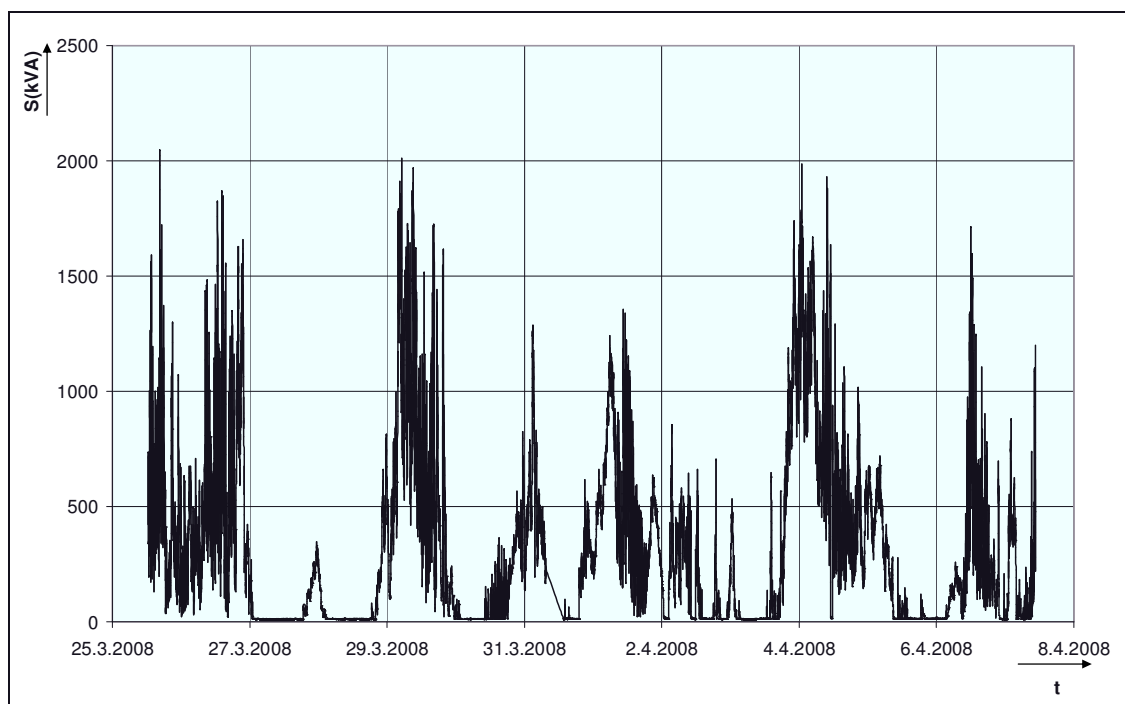
Pro přehlednost je zapotřebí zobrazení kratšího časového úseku., kde lze lépe a podrobněji sledovat intenzitu a změny dodávaného činného výkonu  $P$  a odebíraného jalového výkonu  $Q$ . Na tyto časové změny dodávky (odběru) musí reagovat ostatní zdroje v síti, jenž musí tyto výkyvy dorovnávat. Pokud by došlo k nedostatku, popřípadě přebytku energie může v krajním případě dojít i k rozpadu elektrické sítě.



**Obr. 15** Časová závislost činného a jalového výkonu (menší časový interval)

V Obr.15 je viditelné že v krátkých časových intervalech dochází ke značným změnám dodávaného činného výkonu, můžeme hovořit o několika desítkách, až stovkách kW. Poněvadž na změnách výkonu jsou závislé i změny proudu, jsou zařízení VTE a vedení vystaveny proudovým rázům.

Činný výkon  $P$  s jalovým výkonem  $Q$  nám spolu tvoří zdánlivý výkon  $S$ , jeho průběh je znázorněn na následujícím obrázku.

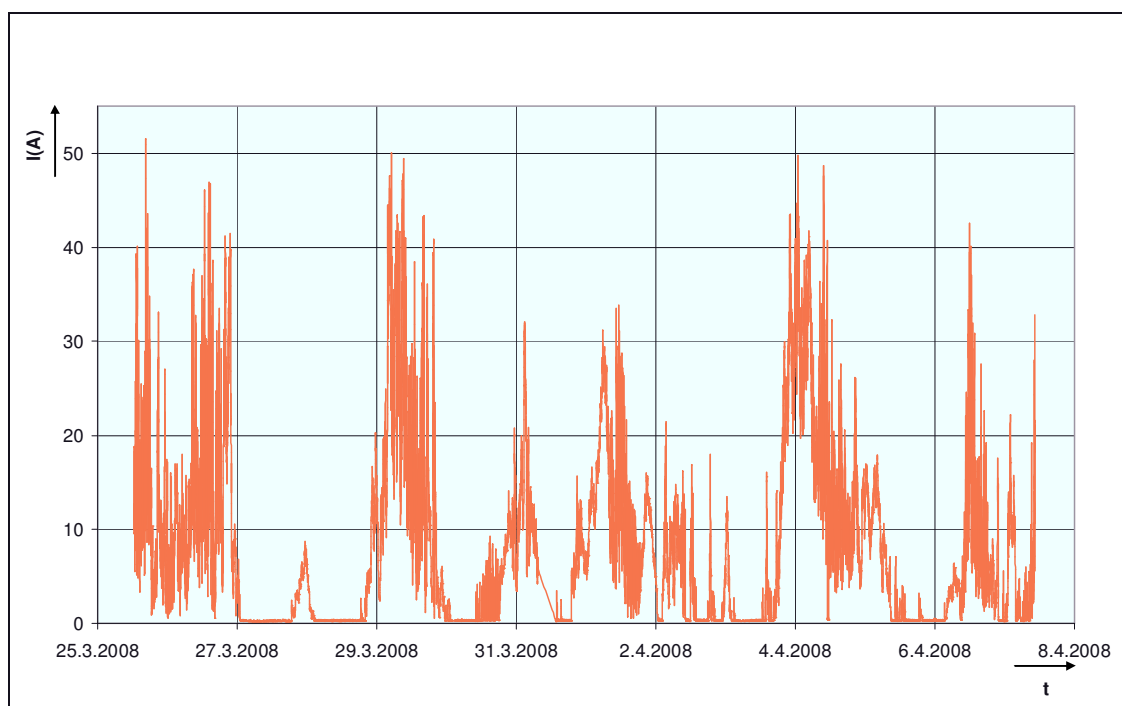


**Obr. 16 Časová závislost zdánlivého výkonu**

Je samozřejmé, že zdánlivý výkon dosahuje o něco větších hodnot, než je tomu u činného výkonu, poněvadž jalová složka je relativně malá, nedosahují rozdíly mezi těmito veličinami až natolik markantní.

### Průběh proudu

Jak již bylo výše popsáno, změny výkonu způsobují také změny proudu. Ten díky vysoké hladině napětí dosahuje pouze několika desítek ampér.



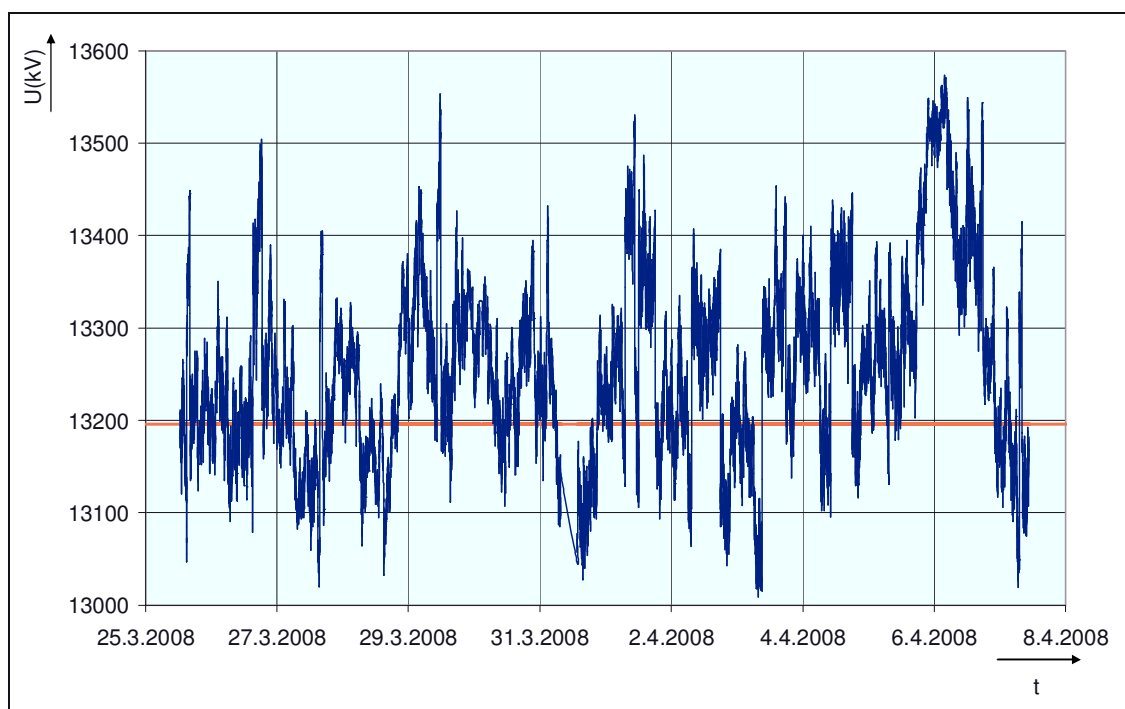
**Obr. 17 Časový průběh proudu**

Maximální hodnota proudu dosahuje téměř 51 A, pokud je VTE v motorickém chodu (odběr činného výkonu  $P$ ) pohybuje se proud okolo 0,3 A. Proud dodávaný (odebíraný) se skládá z činné a jalové složky, tudíž není průběh proudu srovnatelný s průběhem činného výkonu  $P$ , nýbrž s průběhem zdánlivého výkonu  $S$ . Sloučíme-li časové průběhy do jednoho grafu, dostaneme průběh jenž, je zobrazen v přílohách na Obr. 17. Je zde patrné, že průběhy těchto dvou veličin se překrývají.



## Kolísání napětí

Analyzované VTE dodávají energii do přípojného bodu s hladinou napětí 22 kV, to znamená, že efektivní hodnota fázového napětí je přibližně 12,7 kV. Dle pravidel provozu distribuční soustavy s dodávkou energie z přírodních zdrojů nesmí změna napětí přesáhnout 2 %  $U_N$ , což v našem případě dělá 254,03 V. Na následujících obrázcích jsou znázorněny průběhy napětí, na nichž lze sledovat značné kolísání napětí.



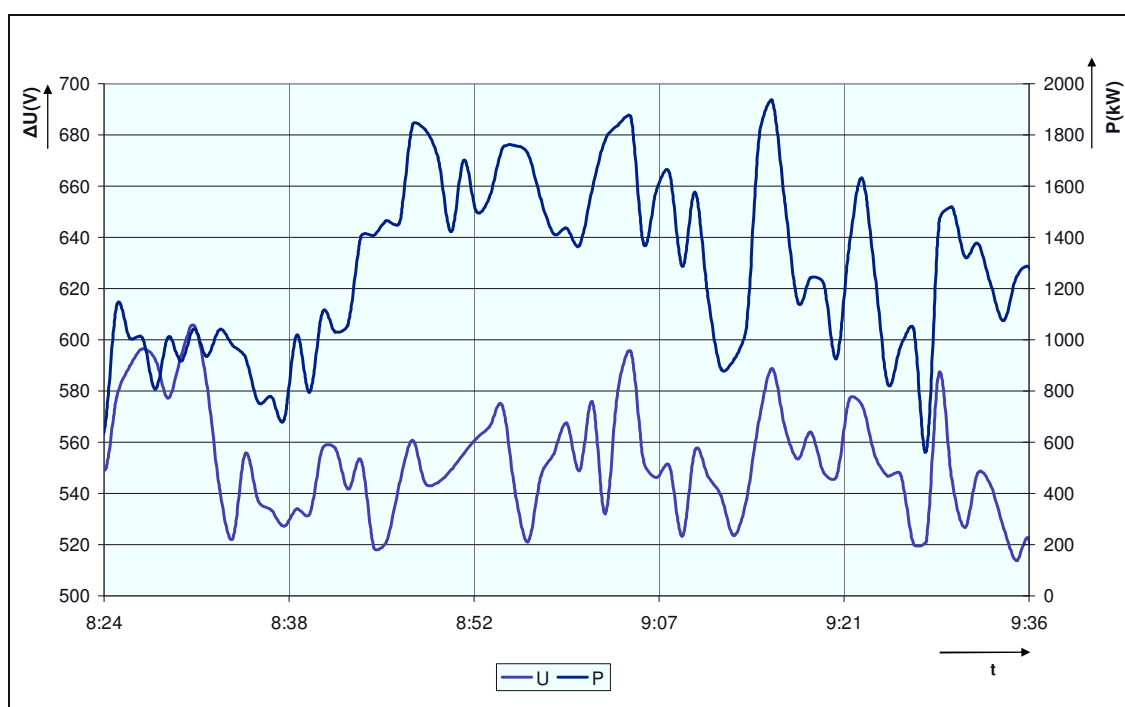
**Obr. 18 Časová závislost fázového napětí**

Je-li dodávaný, popřípadě odebíraný výkon přibližně roven 0, je efektivní hodnota napětí 13,196 kV. Budeme-li předpokládat, že v tuto chvíli ovlivňuje VTE napětí jen minimálně, lze považovat napětí 13,196 kV za výchozí pro určení zvýšení napětí. V Obr. 17 je tato hodnota vyznačena červenou přímkou. Maximální naměřená hodnota napětí ve sledovaném období je 13,57 kV, což je zvýšení napětí 2,83 % od hodnoty 13,196 kV, což z pohledu pravidel paralelního provozu s DS je nepřijatelné. Pokud bychom počítali zvýšení napětí od jmenovité hodnoty, dosahuje toto zvýšení necelých 7 %. Poněvadž je v tuto chvíli VTE v motorickém chodu, a tudíž je provozována jako spotřebič a nikoliv zdroj, lze předpokládat že zdrojem tohoto zvýšení napětí bude s největší pravděpodobností jiné zařízení v síti, k němuž je tato výrobná připojena.

Z pohledu normy ČSN EN 50160 je přípustné kolísání napětí  $\pm 10 \% U_N$ , z čehož vyplývá maximální přípustné napětí 13,97 kV. Tato hodnota nebyla ve sledovaném období překročena, a to ani při výše popsaném maximálním zvýšení napětí.

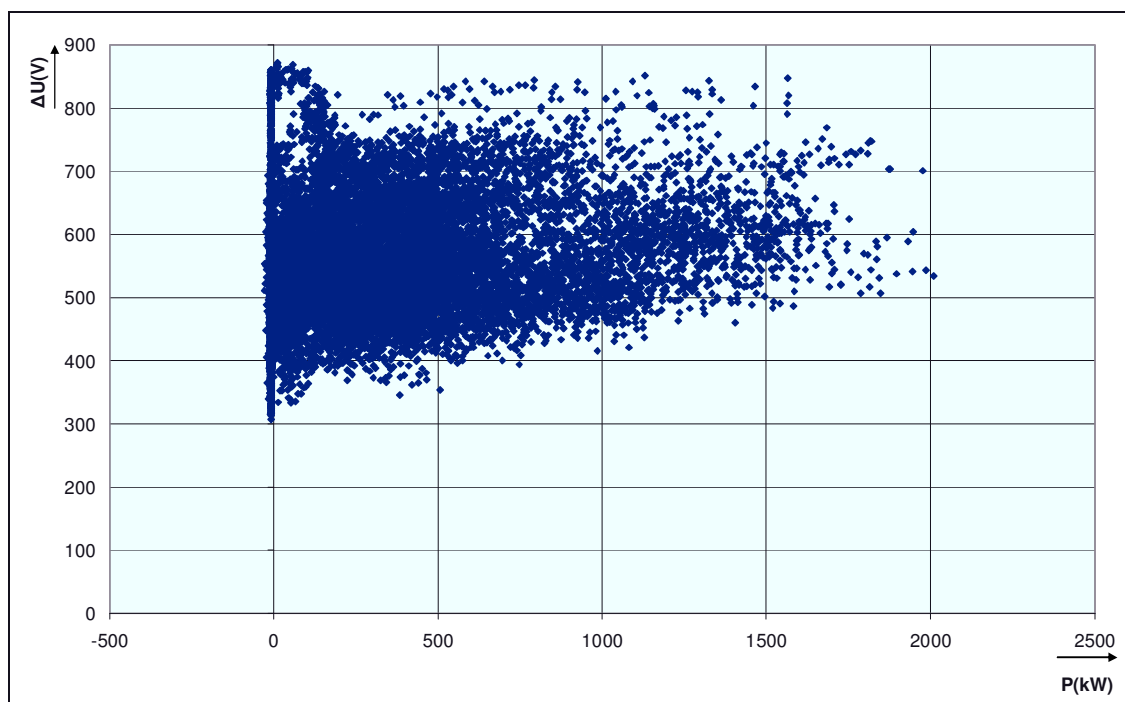
Při zkoumání napětí, nesmí být opomenuto také jeho snížení pod jmenovitou hodnotu, tento případ se nazývá podpětí. Dojde-li k podpětí, bude při konstantním výkonu docházet ke zvýšení proudu. Ve sledovaném období nekleslo napětí pod 13 kV, budeme-li vycházet z fázového jmenovitého napětí 12,7 kV, nelze v žádném případě o podpětí mluvit. Poněvadž jsou zařízení konstruována na jmenovité napětí, nelze při řešení podpětí vztahovat napětí k hodnotě 13,196 kV.

Časové změny napětí, a tím i velikost rozdílu napětí, jsou závislé na dodávaném výkonu až do chvíle než zapůsobí automatika. Toto řízení se projeví náhlým snížením napětí i při stále stoupajícím výkonu. Pro lepší znázornění jsou hodnoty činného výkonu  $P$  vyneseny v absolutní hodnotě.



Obr. 19 Časová závislost napětí  $U$  a činného výkonu  $P$

Nelze říct, že při maximální dodávce by byl rozdíl napětí maximální, což je znázorněno na následujícím obrázku. Rozdíl napětí je zde vztažen k jmenovitému napětí, pokud bychom tyto hodnoty vyjádřili zaponoví napětí 13,196 kV dostali bychom totožnou závislost, s tím rozdílem, že zobrazené body by byly víc přiblíženy k ose x.

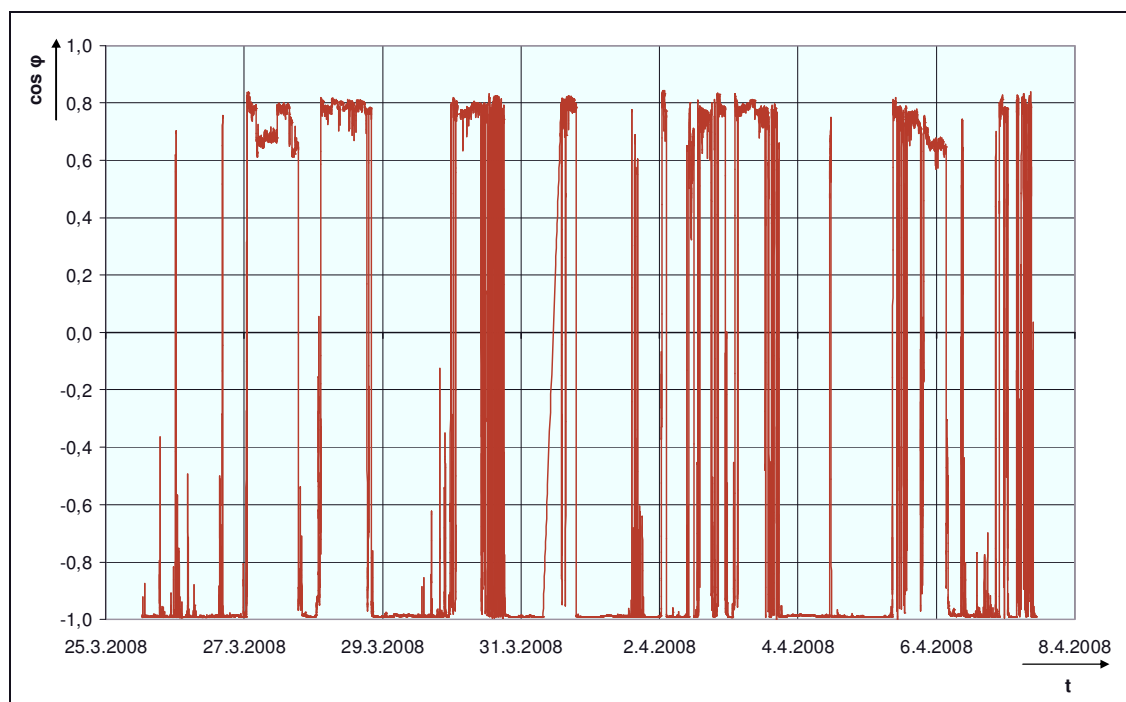


**Obr. 20** Závislost změny napětí na činném výkonu

Z Obr. 19 je patrné, že k maximálním změnám napětí nedochází převážně při maximálním dodávaném výkonu (jmenovitém výkonu zařízení). Dá se konstatovat, že změny napětí nejsou závislé na dodávaném (odebíraném) činném výkonu.

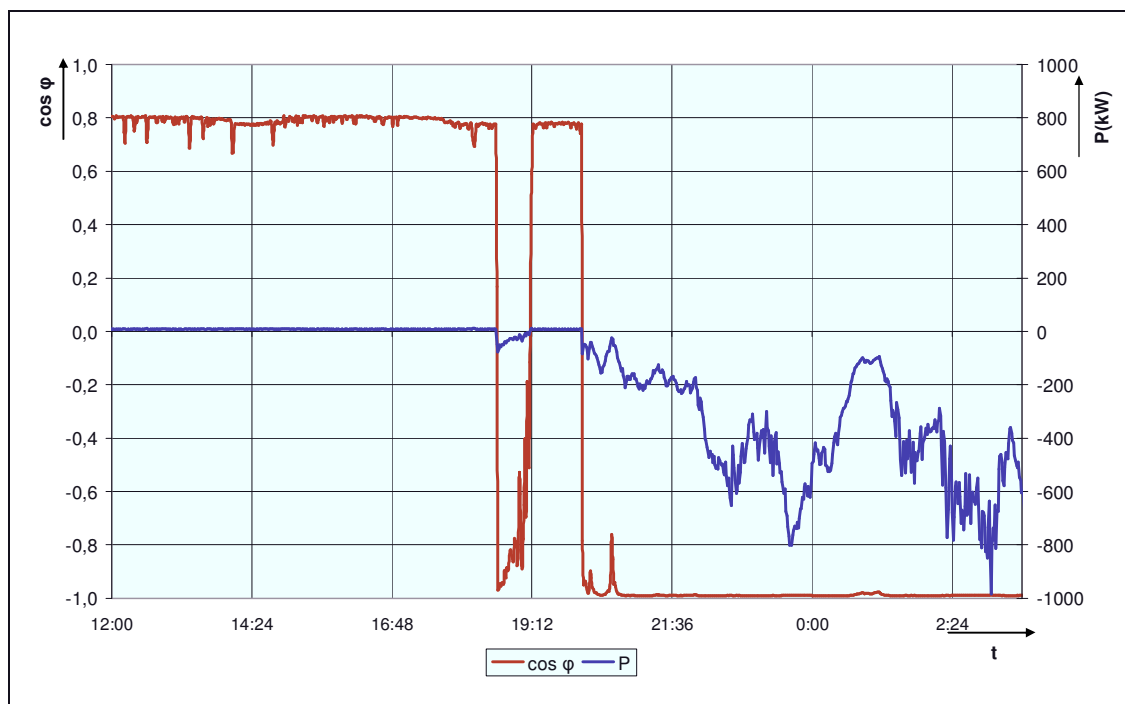
## Účinník

Účinník úzce souvisí s dodávkou (odběrem) energie. V podstatě nám určuje poměr činného výkonu ku zdánlivému, a tím i velikost jalové složky. Na následujícím obrázku je znázorněn průběh účinníku  $\cos \varphi$ .



**Obr. 21 Časový průběh účinníku  $\cos \varphi$**

Hodnoty účinníku se pohybují v intervalu -1 až 0,84. Záporných hodnot VTE dosahuje v případě, dodává-li do sítě elektrickou energii. Kladný účinník značí odběr elektřiny, což znamená, že VTE je v motorickém chodu. Tyto změny účinníku v závislosti na činném výkonu  $P$  jsou znázorněny v následujícím obrázku.



**Obr. 22 časový průběh účinníku  $\cos \varphi$  a činného výkonu  $P$**

Větrná elektrárna Veselí u Oder se snaží dosáhnout účinníku 0,97. Budeme-li brát v potaz dobu, při níž VTE dodává do sítě elektrickou energii, lze konstatovat, že většinu tohoto času je účinník přibližně roven 0,97.

## 7 Závěr

Úkolem této práce bylo, seznámit se s distribuční sítí, jejími vlastnostmi a parametry. Další cíl byl přiblížit si, dnes často společností probírané, obnovitelné zdroje elektrické energie a jejich zpětné vlivy na elektrickou energii a podmínky, jež musí tyto zdroje splnit, aby byly připojeny do distribuční sítě. Hlavním úkolem bylo zkoumání vlivů vybraného zdroje na distribuční síť.

Jak již bylo výše uvedeno, distribuční síť přivádí elektřinu jednotlivým odběratelům, jak občanům, tak i velkým firmám. Tudíž její provoz a správný chod je důležitý pro každodenní život každého z nás. I z tohoto důvodu jsou kladeny velké požadavky na samotnou distribuční síť a také na zdroje, jež jsou na ní připojeny, a to především s ohledem na stabilitu sítě a kvalitu elektrické energie.

V dnešní době je značně diskutovatelná výroba elektrické energie v obnovitelných zdrojích. Jako největší kladná stránka je uváděný malý negativní vliv na životní prostředí při samotném provozu. Ovšem dalším hlediskem, jež by měl být brán v potaz, je kolik škodlivých látek je emitováno při samotné výrobě a likvidaci daného výrobního zdroje a jeho součástí. Mezi další aspekty je výkon a účinnost OZE, jež úzce souvisí s jejich umístěním. Což s velikostí našeho státu nedává moc prostoru, jež je vhodný k umístění jednotlivých zdrojů s ohledem na nepostradatelné požadavky, jako je potřebná síla větru, přítomnost vodního toku, přístup k biomase a další aspekty, jež musí být splněny pro optimální chod daného výrobního zdroje.

Důležitým aspektem každé výrobní jednotky je vliv na distribuční síť, čímž je značně ovlivňována kvalita elektrické energie a také signál hromadného dálkového ovládání. Před připojením většiny zdrojů do distribuční sítě, musí tuto výrobu schválit provozovatel DS, jež zkoumá její vlastnosti a parametry nejen s ohledem na zpětné vlivy. Dnešním trendem je docílit požadované míry zpětného působení všech zařízení, jak zdrojů, tak spotřebičů připojených na distribuční síť.

Mezi největší nevýhody OZE, zejména slunečních a větrných elektráren je častá změna dodávaného výkonu do distribuční sítě. Tento neopomenutelný aspekt byl ověřen při analýze dat z větrné elektrárny Veselí u Oder. Elektřina, jež tato VTE dodává do sítě je časově nestálá i přes snahu výrobců těchto zdrojů docílit co nejoptimálnějšího chodu při co nejširším spektru rychlosti větru. Poněvadž je vítr přírodním jevem, nejsme v žádném případě, i za pomoci nejmodernější technologie tento jev řídit, natož absolutně ovládnout. Z tohoto důvodu je nutné i do budoucna počítat se záložními zdroji energie, jež nejsou ovlivňovány přírodními živly.

Stěžejním úkolem této práce, bylo vyhodnotit data z roku 2008, jež byla naměřena na již zmiňované větrné elektrárně Veselí u Oder. Analýzou těchto dat byly získány časové závislosti veličin souvisejících se zpětnými vlivy na distribuční síť. Mezní hodnoty byly následně srovnány s předepsanými hodnotami, jež nám definují normy a předpisy provozovatelů distribučních soustav.

Jedním ze zkoumaných parametrů je změna napětí. Z pohledu normy ČSN EN 50160 zkoumaná data nepřekročily mezní hodnoty popisovány touto normou, jež jsou  $\pm 10\% U_N$ . Ovšem z pohledu pravidel pro provozování paralelních zdrojů s distribuční sítí, nebylo splněno dovolené zvýšení napětí, jenž je v tomto dokumentu předepsáno  $2\%$  z  $U_N$  pro síť nízkého napětí. Maximální hodnota napětí byla větší téměř o  $7\%$  než je jmenovité napětí. Při analýze ovšem bylo zjištěno, že v době, kdy VTE nedodává energii do sítě, bylo napětí 13,196 kV. Pokud by bylo toto napětí bráno v potaz při výpočtu zvýšení napětí, dosahoval by maximální rozdíl  $2,83\%$ , což je stále nad hranicí  $2\%$ . Ačkoliv výše uvedený dokument dovoluje až dvojnásobné hodnoty zvýšení napětí, v případě připojování generátorů, nemůžeme toto brát v ohled, neboť VTE v době největší hodnoty napětí již byla delší dobu v provozu.

Dalším sledovaným parametrem byl účinník  $\cos \varphi$ , jenž v závislosti na činném výkonu nabýval kladných i záporných hodnot. Byla-li VTE v generátorickém chodu, byl účinník záporný, průměrně dosahoval hodnot  $|\cos \varphi| > 0,97$ , což je hodnota, jež se snaží VTE při výrobě elektřiny dosáhnout. Odchyldy od této hodnoty byly zapříčiněny výraznými změnami činného výkonu. Kladných hodnot bylo dosaženo v motorickém chodu, zde se účinník pohyboval kolem hodnoty 0,8.

Touto analýzou dat byly ověřeny a potvrzeny všeobecně známe negativní vlivy OZE na distribuční síť. Ačkoliv člověk nemůže ovlivnit přírodní síly a tím výkon dodávaný výrobny využívající těchto sil, je nutné stále zdokonalovat technologie související s těmito zdroji, a tím docílit stabilnější a časově míň proměnlivé dodávky výkonu. Samozřejmě nesmějí být pozapomenuty také další vlivy OZE na distribuční síť, zejména kolísání napětí a ovlivnění signálu HDO. V této problematice je neustále mnoho prostoru pro další studie a vývoj. V závěru lze konstatovat, že v rozumném objemu a v potřebné kvalitě nemůžou, nenastanou-li extrémní podmínky, tyto výroby vážněji ohrozit distribuční síť, a tím život každého z nás, v němž si již nedokážeme dlouhodobě představit život bez elektrické energie.

## Literatura a použité zdroje

- [1] *Alternativní zdroje energie* [online]. 2010 [cit. 2011-4-16]. Dostupné z WWW: <[www.alternativni-zdroje.cz](http://www.alternativni-zdroje.cz)>.
- [2] *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 2010 [cit. 2011-4-16]. Dostupné z WWW: <[www.csve.cz](http://www.csve.cz)>.
- [3] ČSN EN 50160, Český normalizační institut, 2000
- [4] *Energetický regulační úřad* [online]. Dostupné z WWW: <[www.eru.cz](http://www.eru.cz)>.
- [5] MIŠÁK, Stanislav, et al. Provoz větrných elektráren s měničem frekvence. *Elektro*. 2008, 10, s. 4 - 8.
- [6] *Fortex - AGS* [online]. 2010 [cit. 2011-4-16]. Dostupné z WWW: <[www.fortexbioplyn.cz](http://www.fortexbioplyn.cz)>.
- [7] GURECKÝ, Jiří. Typy sítí a stanic. In *Projektování el. distribučních sítí a stanic* [online]. Ostarva : [s.n.], 2003 [cit. 2011-4-16]. Dostupné z WWW: <[http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/f\\_studium.htm](http://fei1.vsb.cz/kat410/studium/f_studium.htm)>.
- [8] HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektroenergetika*. I. vydání. Ostrava : VŠB Ostrava, 1992. 170 s.
- [9] *Obnovitelné zdroje energie a možnost jejich uplatnění v České republice* [online]. 2007 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>>.
- [10] *Odpad je energie* [online]. 2008 [cit. 2011-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.odpajeenegie.cz/>>.
- [11] *Pravidla provozování distribučních sítí : Příloha 4 Pravidla pro paralelní provoz zdrojů se sítí provozovatele distribuční soustavy* [online]. 2009 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <[http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS\\_2009\\_4.pdf](http://www.eon-distribuce.cz/file/cs/electricity/regulations/PPDS_2009_4.pdf)>.
- [12] *Příručka obnovitelné zdroje energie* [online]. 2006 [cit. 2011-04-17]. Dostupné z WWW: <[http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106\\_oborova-prirucka-oze.pdf](http://www.businessinfo.cz/files/2005/061106_oborova-prirucka-oze.pdf)>.
- [13] *Svaz podnikatelů pro využití energetických zdrojů* [online]. 2010 [cit. 2010-12-11]. Dostupné z WWW: <[www.spvez.cz](http://www.spvez.cz)>.



[14] *Technická zařízení budov* [online]. 2001-2010 [cit. 2010-12-11]. Dostupné z WWW: <[www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)>.

[15] *Ústav fyziky atmosféry AV ČR* [online]. 2000-2009 [cit. 2010-12-11]. Dostupné z WWW: <[www.ufa.cas.cz](http://www.ufa.cas.cz)>.

[16] *V90 - 1,8/2,0 MW : Maximum output at medium-wind and low-wind sites* [online]. Denmark : 06/2009 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://www.niko-brno.cz/files/V90-20.pdf>>.

[17] *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů za rok 2009* [online]. 2010 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://download.mpo.cz/get/29807/48050/571024/priloha001.pdf>>.